

**Gerhart
Kriechbaum**

Pneumatische Steuerungen

Gerhart Kriechbaum
Pneumatische Steuerungen

Manuskript von 1981



Gerhart Kriechbaum
Bamberg 2011

Vorwort

Die Antrieb- und Steuerungstechnik von Werkzeugmaschinen und Einrichtungen im industriellen Fertigungsbereich hat im Zwanzigsten Jahrhundert viele Phasen durchlaufen.

Haben im 19. Jahrhundert Windräder und Wasserräder jeweils eine Maschine oder Einrichtung angetrieben, so wurden mit zunehmender Industrialisierung von einer zentralen Antriebsmaschine (Dampfmaschine oder Turbine) Werkzeugmaschinen und Einrichtungen mit Transmissionen, über Stahlwellen mit aufgesetzten Riemenscheiben und Lederflachriemen, angetrieben.

Nach der Entwicklung des Elektromotors wurden im zweiten Viertel des 20. Jahrhunderts die verschleißanfällige und unfallgefährliche Transmission außer Dienst gestellt. Man ging zum Einzelantrieb der Maschinen über. Jede Maschine wurde von einem Elektromotor angetrieben. Vorschubbewegungen wurden über Getriebe vom Hauptantrieb abgeleitet. Die Steuerung der Maschinen erfolgte manuell, der Maschinenbediener steuerte den Arbeitsablauf.

Eine weitere Entwicklung im Werkzeugmaschinenbau waren vollmechanische, kurvengesteuerte Drehautomaten, bei denen der Maschinenbediener nicht mehr in den Arbeitsablauf eingreifen mußte. Seine Tätigkeit beschränkte sich auf den Werkstückwechsel.

Um die Mitte des 20. Jahrhunderts wurden Werkzeugmaschinen entwickelt die für die Anfertigung eines bestimmten Werkstückes ausgelegt waren. Mehrere Bearbeitungseinheiten griffen gleichzeitig auf das Werkstück zu. Das in einer Spannvorrichtung gehaltene Werkstück wurde auf einem Rundtisch oder in einer Transferlinie von Bearbeitungsstation zu Bearbeitungsstation transportiert. Die Spann- und Vorschubbewegungen wurden mechanisch oder hydraulisch ausgeführt und die Positionen der Einheiten wurden von Endschaltern kontrolliert. Die Steuerung für diese Maschinen wurde als festverdrahtete Schützensteuerung ausgeführt. Für die Verständigung zwischen Konstruktion und Elektriker, der die Verdrahtung der Steuerung realisierte, wurde der Arbeitsablauf der Maschine in Form einer Beschreibung festgelegt. Wegschritt- oder Ablaufdiagramme waren unbekannt.

Mit der fortschreitenden Automatisierung wurden auch an Montageplätzen immer mehr selbstablaufende Vorgänge eingesetzt. In den meisten Fällen sollten mehrere Bewegungen selbsttätig ablaufen. Da die festverdrahteten Schützensteuerungen für diese Einrichtungen zu aufwändig waren und die meisten Bewegungen von Pneumatikzylindern ausgeführt wurden, wurden für diese Steuerungen die ab 1960 am Markt angebotenen Steuerelemente für pneumatische Steuerungen eingesetzt.

Doch der Mechatroniker war noch nicht erfunden und so entstanden des öfteren Steuerungen deren Funktion nicht befriedigend war.

In den Unterrichtsplänen der technischen Lehranstalten war das Fach Pneumatik nicht vorgesehen und es gab nur wenige Lehrbücher über Pneumatische Steuerungen.

Wollten Betriebe die Pneumatik wirtschaftlich einsetzen, mußten sie ihre Konstrukteure und Mechaniker über die Möglichkeiten und den Umgang mit Pneumatik selbst unterrichten. Unter diesen Voraussetzungen ist dieses Manuskript entstanden. Es ist auf Unterlagen von Pneumatikgeräte Herstellern, auf die in der Norm festgelegten Sinnbilder, Schaltzeichen und Vorgaben für die Darstellung von Arbeitsabläufen und einer jahrelangen Praxis im Aufbau und der Wartung von Pneumatischen Steuerungen aufgebaut.

Das Buch Pneumatische Steuerungen von Gerhart Kriechbaum ist in erster Auflage im Jahr 1971 und in zweiter neu bearbeiteter Auflage 1981 bei Friedr. Vieweg + Sohn, Braunschweig erschienen. Ein korrigierte Nachdruck der zweiten Auflage ist 1992 bei Friedr. Vieweg + Sohn erschienen. Seit dieser Zeit ist das Buch nicht mehr im Buchhandel.

Vollpneumatischen Steuerungen wurden im letzten Viertel des 20. Jahrhunderts weitgehend durch speicherprogrammierbare Steuerungen ersetzt. Diese Steuerungen eignen sich für Einrichtungen mit großem und geringem Steuerungsaufwand. Sie können neben ihrer Hauptaufgabe Steuern und Regeln durch die Anbindung an einen Verwaltungsrechner alle Betriebsdaten wie bearbeitete Stückzahlen, Prüfdaten, Störungen und Stillstandszeiten übernehmen. Wenn auch viele der in diesem Buch „Pneumatische Steuerungen“ beschriebenen Geräte geändert wurden oder nicht mehr am Markt sind, so können doch die Angaben zu den physikalischen Eigenschaften der Luft und die Beschreibung über den Aufbau einer Steuerung, einem Studierenden und dem in der Praxis tätigen Ingenieur und Techniker wertvolle Hinweise geben. Deshalb habe ich das nicht mehr verfügbare Buch unter Creative Commons Lizenz im Internet Archive wieder veröffentlicht.

Gerhart Kriechbaum
Bamberg 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Die physikalischen Eigenschaften der Luft	1
1.1	Luftdruck	1
1.2	Gasgesetze	4
1.3	Zustandsänderungen	5
1.4	Strömung von Luft	9
1.4.1	Stationäre Strömung	9
1.4.2	Quasistationäre Strömung	11
1.4.3	Berechnung des Volumenstromes durch pneumatische Geräte	14
1.4.3.1	Leitwert C	14
1.4.3.2	Kritisches Druckverhältnis b	15
1.4.3.3	Durchfluß- und Druckabfallberechnung für Einzelgeräte	16
1.4.3.4	Durchfluß- und Druckabfallberechnung für hintereinander geschaltete Geräte	18
1.4.3.5	Durchfluß- und Druckabfallberechnung für parallelgeschaltete Geräte	18
1.4.4	Strömung bei sehr kleinen Druckunterschieden	19
1.5	Luftfeuchtigkeit	19
2	Bauglieder einer pneumatischen Steuerung	21
2.1	Allgemeines	21
2.2	Verdichter	24
2.2.1	Allgemeines	24
2.2.2	Hubkolbenverdichter	25
2.2.3	Membranverdichter	27
2.2.4	Vielzellenverdichter	27
2.2.5	Schraubenverdichter	28
2.2.6	Strömungsverdichter	29
2.3	Nachkühler	29
2.4	Druckluftbehälter	29
2.5	Druckluft-Trockner	30
2.5.1	Allgemeines	30
2.5.2	Kältetrockner	31
2.5.3	Adsorptionstrockner	31
2.5.4	Absorptionstrockner	33
2.6	Hauptleitungen	34
2.7	Wartungseinheit	36
2.7.1	Allgemeines	36
2.7.2	Druckluftfilter	37
2.7.3	Druckluftregler	40
2.7.4	Druckluftöler	41
2.8	Steuerelemente	43
2.8.1	Allgemeines	43
2.8.2	Wegeventile	46
2.8.2.1	Erklärung der Sinnbilder	46
2.8.2.2	Sinnbilder der Wegeventile mit Ruhe-Stellung	49
	• Allgemeines	49
	• Durch Muskelkraft oder Maschinenteile betätigte Ventile	49
	• Pneumatisch betätigte Ventile	51
	• Elektromagnetisch betätigte Ventile	54

2.8.2.3	Sinnbilder der Wegeventile ohne Ruhe-Stellung	55
•	Allgemeines	55
•	Durch Muskelkraft betätigte Ventile	55
•	Pneumatisch durch Druckbeaufschlagung betätigte Ventile (Impulsventile)	56
•	Pneumatisch durch Druckbeaufschlagung mit Differenzkolben betätigte Ventile (Impulsventile)	57
•	Pneumatisch durch Druckentlastung betätigte Ventile (Impulsventile)	58
•	Elektromagnetisch betätigte Impulsventile	59
2.8.2.4	Bauformen der Wegeventile	60
•	Sitzventile	60
•	Schiebeventile	63
•	Betätigungselemente	66
•	Montagearten	69
2.8.3	Bauformen und Sinnbilder der Sperrventile	71
2.8.3.1	Rückschlagventil	71
2.8.3.2	Wechselventil	71
2.8.3.3	Zweidruckventil	72
2.8.3.4	Schnellentlüftungsventil	73
2.8.4	Bauformen und Sinnbilder der Stromventile	73
2.8.4.1	Drosselventil	73
2.8.4.2	Drosselrückschlagventil	74
2.8.4.3	Drosselrückschlagventil mit verstellbarer Drossel, mechanisch durch Rollenhebel betätigt	75
2.8.5	Bauformen und Sinnbilder der Druckventile	76
2.8.5.1	Druckregelventil	76
2.8.5.2	Druckbegrenzungsventil	76
2.8.5.3	Zuschaltventile	76
2.8.5.4	Impulswandler	77
2.8.5.5	Druckschalter	78
2.8.6	Zeitglieder und Zähler	78
2.8.7	Fluidik-Elemente	79
2.8.7.1	Kolben-Elemente	79
2.8.7.2	Sitzventil-Elemente	80
2.8.7.3	Membran-Elemente	82
a)	Doppelmembranelement mit Federrückstellung (Samsomatic)	83
b)	Doppelmembranelement (Sunvic-Dreloba)	83
c)	Einfach-Membranelement (Hoerbiger)	84
2.8.7.4	Turbulenzverstärker (Maxam-Pneumatik)	85
2.8.7.5	Wandstrahlelemente	86
a)	Allgemeines	86
b)	Bistabile Elemente	86
c)	Unistabile Elemente	87
d)	Elemente mit passiven Vorsteuerstufen	87
2.8.8	Fluidik-Sensoren	88
2.8.8.1	Allgemeines	88
2.8.8.2	Rückstau-Sensoren	89
2.8.8.3	Ringstrahl-Sensoren	89
2.8.8.4	Strahlschranken	90
2.8.8.5	Zylinderschalter	91
2.8.9	Verstärker	92
2.9	Antriebsglieder	92
2.9.1	Allgemeines	92
2.9.2	Zylinder	93

2.9.2.1	Einfachwirkende Zylinder	93
2.9.2.2	Membranzyylinder	94
2.9.2.3	Doppeltwirkende Zylinder	95
2.9.2.4	Doppeltwirkende Zylinder mit Endlagendämpfung	96
2.9.2.5	Zylinder mit berührungsloser Signalgabe	97
2.9.2.6	Zylinder mit durchgehender Kolbenstange	97
2.9.2.7	Zylinder ohne Kolbenstange	98
2.9.2.8	Mehrstellungszyylinder	99
2.9.2.9	Tandemzyylinder	99
2.9.2.10	Schlagzyylinder	99
2.9.2.11	Zylinder für pneumatisch-hydraulische Beaufschlagung	101
2.9.2.12	Hinweise für die Anfertigung von Druckluft-Zylindern	101
2.9.2.13	Berechnung doppeltwirkender Zylinder	102
a)	Kolbenstangen-Kraft	102
b)	Luftverbrauch	106
c)	Kolbenstangen-Geschwindigkeit	106
d)	Endlagendämpfung	106
2.9.3	Drehantriebe	108
2.9.4	Vorschubeinheiten mit hydraulischem Bremszylinder	108
2.9.5	Druckluftmotoren	110
2.9.5.1	Allgemeines	110
2.9.5.2	Radialkolbenmotoren	110
2.9.5.3	Axialkolbenmotoren	110
2.9.5.4	Zahnradmotoren	111
2.9.5.5	Turbomotoren	111
2.9.5.6	Lamellenmotoren	111
2.9.6	Bearbeitungseinheiten	114
2.9.7	Pneumatische Schalttische	114
2.9.8	Taktvorschubgeräte	117
2.10	Druckwandler und Druckübersetzer	118
2.11	Leitungen und Leitungsverbindungen	121
2.12	Schalldämpfer	123
2.13	Meßgeräte	125
2.13.1	Druckmeßgeräte	125
2.13.1.1	U-Rohr-Druckmeßgeräte	125
2.13.1.2	Metall-Druckmeßgeräte	125
2.13.2	Volumenmeßgeräte	127
2.13.2.1	Behälter-Meßverfahren	127
2.13.2.2	Ausfluß-Meßverfahren	128
2.13.2.3	Wirkdruck-Meßverfahren	129
2.13.2.4	Schwebekörper-Meßverfahren	130
2.13.3	Längenmeßgeräte	131
2.13.3.1	Meßverfahren	131
2.13.3.2	Niederdruck-Meßverfahren	131
2.13.3.3	Differenzdruck-Meßverfahren	132
2.13.3.4	Volumen-Meßverfahren	133
2.13.3.5	Meßfühler	134
3	Aufbau pneumatischer Steuerungen	136
3.1	Allgemeines	136
3.2	Das Weg-Schritt-Diagramm	140
3.3	Der Programmablaufplan	144
3.4	Der Funktionsplan	146

3.5	Das Funktionsdiagramm	149
3.6	Schaltalgebra	152
3.6.1	Allgemeines	152
3.6.2	Schaltfunktionen	152
3.6.3	Regeln und Gesetze der Schaltalgebra	160
3.6.4	Realisierung der Schaltfunktionen	161
3.7	Arten der Steuerungen (DIN 19 237)	161
3.7.1	Verknüpfungssteuerungen	161
3.7.2	Ablaufsteuerungen	164
3.8	Grundschaltungen für einen Zylinder	165
3.8.1	Allgemeines	165
3.8.2	Steuerungen für einfachwirkende Zylinder	166
3.8.2.1	Verknüpfungssteuerung (Stellglied = Signalglied)	166
3.8.2.2	Verknüpfungssteuerung (Stellglied + Signalglied)	167
3.8.2.3	Verknüpfungssteuerung mit Speicher	168
3.8.3	Steuerungen für doppeltwirkende Zylinder	169
3.8.3.1	Verknüpfungssteuerung (Stellglied = Signalglied)	169
3.8.3.2	Verknüpfungssteuerung (Stellglied + Signalglied)	169
3.8.3.3	Verknüpfungssteuerung, Stellglied durch Druckbeaufschlagung betätigt	170
3.8.3.4	Verknüpfungssteuerung, Stellglied durch Druckentlastung betätigt	171
3.8.4	Wegplansteuerungen für doppeltwirkende Zylinder	172
3.8.4.1	Ein Arbeitsspiel nach dem Startimpuls	172
3.8.4.2	Kontinuierlicher Arbeitsablauf nach Betätigen des Startventiles, durch Druckbeaufschlagung betätigtes Stellglied	175
3.8.4.3	Kontinuierlicher Arbeitsablauf nach Betätigen des Startventiles, durch Druckentlastung betätigtes Stellglied	177
3.8.4.4	Verzögerter Rücklauf der Kolbenstange	178
3.8.5	Zeitgeführte Ablaufsteuerungen für doppeltwirkende Zylinder	181
3.8.5.1	Ein Arbeitsspiel nach dem Startimpuls	181
3.8.5.2	Kontinuierlicher Arbeitsablauf nach Betätigen des Startventiles	183
3.8.6	Wechselsteuerung	185
3.8.7	Zweihand-Sicherheits-Auslösung	187
3.8.7.1	Zweihand-Sicherheits-Auslösung mit mechanischen Auslöseteilen	188
3.8.7.2	Pneumatische Zweihand-Sicherheits-Auslösung	188
3.8.8	Regelung der Kolbenstangengeschwindigkeit	191
3.9	Verknüpfung mehrerer Steuerketten zu einem Arbeitsablauf	195
3.9.1	Allgemeines	195
3.9.2	Aufbau der Steuerung mit Hilfe des Veitch-Karnaugh-Diagrammes	196
3.9.2.1	Erstellung des Veitch-Karnaugh-Diagrammes	196
3.9.2.2	Beispiele	198
3.9.3	Das Kaskadensystem	206
3.9.3.1	Allgemeines	206
3.9.3.2	Einteilung des Arbeitsablaufes in Gruppen	207
3.9.3.3	Aufbau der Steuerung	207
	• Antriebsglieder – Stellglieder – Arbeitsluftleitungen	207
	• Sammelleitungen – Gruppenvorwahlventile	211
	• Signalglieder der Steuerketten und Gruppenvorwahlventile	211
3.9.4	Ablaufkette	217
3.9.4.1	Allgemeines	217
3.9.4.2	Aufbau der Ablaufkette	217
3.9.4.3	Bauelemente für Ablaufketten	222
3.9.4.4	Reduzierte Ablaufkette	225
3.9.4.5	Verzögerte und zeitlich begrenzte Signale und Befehle in Ablaufketten	228

3.9.4.6	Schaltungsmöglichkeiten mit Ablaufketten	230
•	Allgemeines	230
•	Aussparung eines Programmteiles (Sprung vorwärts)	230
•	Wiederholung eines Programmteiles (Sprung rückwärts – Schleife)	230
•	Parallel laufende Teilprogramme (UND-Verzweigung)	231
•	Alternativ Teilprogramme (ODER-Verzweigung)	239
3.9.5	Der Bi-Selector	239
3.9.6	Das Programmschaltwerk	242
3.9.6.1	Allgemeines	242
3.9.6.2	Aufbau der Steuerung nach einem gegebenen Arbeitsablauf mit Hilfe eines Programmschaltwerkes	244
3.9.7	Impulswandler und Signalglieder mit Leer-Rücklauf-Tastrolle	249
3.9.8	Einzelschaltung – Automatik	249
3.9.9	Gefahrenabschaltung	250
4	Beispiele	251
Beispiel 4.1	Druckänderung bei Temperaturzunahme	251
Beispiel 4.2	Berechnung von Wassergehalt und Kondenswasser	251
Beispiel 4.3	Druckabfall in Hauptleitungen	255
Beispiel 4.4	Volumenstrom ermittelt mit Behälter-Meßverfahren	255
Beispiel 4.5	Volumenstrom ermittelt mit Ausfluß-Meßverfahren	256
Beispiel 4.6	Passungsspiel Prüfvorrichtung	256
Beispiel 4.7	Pneumatische Tischpresse mit Schiebetisch	260
Beispiel 4.8	Verkettungseinrichtung für zwei Bearbeitungsmaschinen	264
Beispiel 4.9	Verkettungseinrichtung für zwei Transportbänder	271
Beispiel 4.10	Fräseinrichtung	274
Formelzeichen		283
Literaturverzeichnis		284
Firmenverzeichnis		285
Sachwortverzeichnis		286

Hinweis zur Normänderung

Nach dem Erscheinen der 2. Auflage des Buches wurden in der Neufassung der Norm DIN ISO 1219 und nach ISO 5599 die Anschlußbezeichnungen der Ventil-sinnbilder (Ventile) von Buchstaben in Ziffern geändert, die Bezeichnung der Schaltstellungen mit Kleinbuchstaben (0, a, b, ...) entfällt.

Gegenüberstellung der Anschlußbezeichnungen

Benennung	alt	neu
Druckanschluß	P	1
Arbeits- bzw. Ausgangsanschluß	B	2
	A	4
Entlüftung	S	3
	R	5
Steueranschluß	Y	10
	X	12
		14

Gegenüberstellung der Sinnbilder

alt	neu	alt	neu

Vorwort

Druckluft als Energieträger bei automatisch ablaufenden Arbeitsprozessen einzusetzen, ist keine Errungenschaft unseres technisierten Zeitalters. Bereits im 3. Jahrhundert v. Chr. beschrieb Philon von Byzanz die Druckluftkanone des Ktesibios von Alexandria, das Aerotonon, und im 1. Jahrhundert n. Chr. beschrieb Heron von Alexandria in seinem Werk „Pneumatika“ die Anwendung von komprimierter Luft beim Bau von Automaten-theatern, verschiedenen Hebertypen, Vexierbechern und Pumpen.

In den letzten 30 Jahren unseres Jahrhunderts hat sich die Druckluft in der industriellen Steuerungstechnik immer mehr durchgesetzt und wird, trotz der in jüngster Zeit in großem Umfang eingesetzten programmierbaren elektronischen Steuerungen und des Mikroprozessors, in vielen Fällen immer die wirtschaftlichere Alternative bleiben.

Unabhängig von der Realisierung der Steuerung ist für die effektive Entwurfsarbeit eine Abkehr von der intuitiven Schaltplanerstellung unumgänglich. In diesem Buch werden deshalb Methoden beschrieben die es ermöglichen, Steuerungen systematisch zu erstellen, wobei zur Festlegung des Arbeitsablaufes immer ein Weg-Schritt-Diagramm und ein Funktionsplan Voraussetzung sind. Die Steuerungen werden als Signalflußplan mit Sinnbildern der digitalen Informationsverarbeitung dargestellt, wenn nicht systembedingt direkt der Geräteplan gezeichnet werden kann. Theoretische Betrachtungen und Berechnungen sind auf das für die Praxis notwendige Minimum begrenzt.

Dieses Buch entstand aus den seit vielen Jahren in Bamberg gehaltenen Kursen und soll, wie es auch Ziel dieser Kurse war, das für den Aufbau pneumatischer Steuerungen notwendige Grundwissen vermitteln. Die im letzten Abschnitt dargestellten Steuerungsbeispiele sollen Hinweis und Anregung für den Aufbau und den Einsatz pneumatischer Steuerungen zur Automatisierung von Arbeitsabläufen mit wenig Bewegungen und geringem Verknüpfungsaufwand sein.

Bamberg, im August 1980

Gerhart Kriechbaum

1 Die physikalischen Eigenschaften der Luft

1.1 Luftdruck

Die Erde ist von einer 600 km dicken Luftschicht, der Erdatmosphäre umgeben. Bis zu einer Höhe von ca. 20 km setzt sich trockene Luft aus folgenden Bestandteilen zusammen:

Tabelle 1.1 Bestandteile der trockenen Luft

Bestandteile	Volumenprozent	Gewichtsprozent
Stickstoff	78,08	75,51
Sauerstoff	20,95	23,15
Argon	0,93	1,28
Kohlenstoffdioxid	0,03	0,046
Neon	0,0018	0,00125
Helium	0,00052	0,000072
Methan	0,00015	0,000094
Krypton	0,00011	0,00029
Kohlenstoffmonoxyd	0,00001	0,00002
Stickstoffmonoxyd	0,00005	0,00008
Wasserstoff	0,00005	0,0000035
Ozon	0,00004	0,000007
Xenon	0,000008	0,000036
Stickstoffdioxid	0,0000001	0,0000002
Jod	$2 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-10}$
Radon	$6 \cdot 10^{-18}$	$5 \cdot 10^{-17}$

Die Moleküle der Erdatmosphäre werden durch die Fallbeschleunigung g gegen die Erdoberfläche gedrückt. Dadurch stellt sich in der Atmosphäre ein innerer Druck ein, der immer kleiner wird, je weiter man sich von der Erdoberfläche (vom Erdmittelpunkt) entfernt. Der praktische Nachweis des atmosphärischen Luftdruckes auf der Erde, wurde durch den in Bild 1.1 dargestellten Versuch des Italieners *Toricelli* 1643 erbracht: Wird ein einseitig dicht verschmolzenes Glasrohr von ca. 900 mm Länge mit Quecksilber gefüllt und mit dem offenen Rohrende in ein Quecksilberbad getaucht, so stellt sich im Rohr eine konstante Höhe des Quecksilberspiegels von 760 mm bei + 15 °C (288 K) und „Normalnull“ (Nullpunkt des Amsterdamer Pegels) ein. Bei dieser Versuchsanordnung besteht zwischen der von der Luft und der von der Quecksilbersäule ausgeübten Kraft Gleichgewicht.

$$F_L = F_{Qu} \quad (1.1)$$

Für F_L gilt nach der Definition des Druckes

$$F_L = p \cdot A \quad (1.2)$$

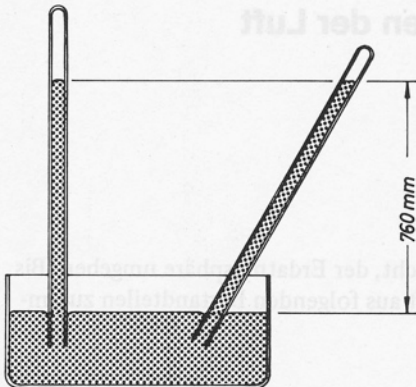


Bild 1.1

Versuch von Toricelli, Nachweis des Luftdruckes

Die von der Quecksilbersäule ausgeübte Gewichtskraft kann nach dem zweiten Newtonschen Gesetz

$$F = m \cdot a$$

berechnet werden, wobei in unserem Fall als Beschleunigung die Fallbeschleunigung g wirkt

$$F_{\text{Qu}} = m \cdot g \quad (1.3b)$$

Es gilt für die Masse des Quecksilbers

$$m = \rho \cdot V \quad (1.4)$$

und für das Volumen

$$V = A \cdot h; \quad (1.5)$$

damit wird Gleichung 1.3b mit den Gleichungen 1.4 und 1.5 zu

$$F_{\text{Qu}} = \rho \cdot A \cdot h \cdot g \quad (1.6)$$

Da nach Gleichung 1.1 F_L und F_{Qu} im Gleichgewicht stehen, kann man die Gleichungen 1.2 und 1.6 gleichsetzen

$$p \cdot A = \rho \cdot A \cdot h \cdot g, \quad (1.7a)$$

was aufgelöst nach p

$$p = \rho \cdot h \cdot g \quad (1.7b)$$

ergibt.

Aus Gleichung 1.7b kann, mit den im Versuchsaufbau Bild 1.2 gemessenen Werten, der Luftdruck berechnet werden:

Dichte des Quecksilbers	$\rho = 13,595 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Höhe der Quecksilbersäule	$h = 0,76 \text{ m}$
Querschnitt der Quecksilbersäule	$A = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
Fallbeschleunigung	$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$

$$p = \rho \cdot h \cdot g$$

$$p = 13,595 \cdot 10^3 \cdot 0,76 \cdot 9,80665 \quad \text{kg/m}^3 \cdot \text{m} \cdot \text{m/s}^2$$

$$p = 1,01325 \cdot 10^5 \quad \text{N/m}^2$$

Drücke von Fluiden (Gasen und Flüssigkeiten)

werden in *Pascal* (Pa) gemessen

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2.$$

In der Industrie wird als weitere Einheit für

Druckangaben das *Bar* (bar) verwendet

$$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ daN/cm}^2 = 10^5 \text{ Pa}.$$

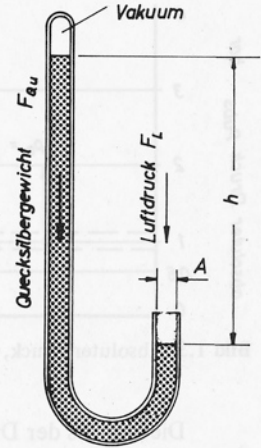


Bild 1.2

Versuchsanordnung zur
Ermittlung des Luftdruckes

Da auf der Erde alles vom *Atmosphärendruck* p_{amb} beaufschlagt ist, wird dieser Druck von uns nicht wahrgenommen. Wetterbedingte Schwankungen des Atmosphärendruckes, die vom Barometer angezeigt werden, können für die meisten Berechnungen unberücksichtigt bleiben. Für Höhenabweichungen gegenüber Normalnull werden in DIN 5450 die in Tabelle 1.2 zusammengestellten Drücke als Jahresmittelwerte am Normaltag angegeben.

Tabelle 1.2 Abweichung des Luftdruckes gegenüber Normalnull

Höhe über Normalnull m	Temperatur		Luftdruck bar
	K	°C	
0	288,2	15,0	1,013
200	286,9	13,7	0,989
500	285,0	11,8	0,955
1000	281,7	8,5	0,899
2000	275,2	2,0	0,795

Als *absoluter Druck* p_{abs} wird der Druck gegenüber dem Druck Null im leeren Raum bezeichnet.

Die Differenz zwischen einem absoluten Druck p_{abs} und dem jeweiligen *Atmosphärendruck* p_{amb} wird grundsätzlich *Überdruck* p_e genannt, wobei der Überdruck positive Werte annimmt, wenn der absolute Druck größer als der Atmosphärendruck ist und negative Werte, wenn der absolute Druck kleiner als der Atmosphärendruck ist (siehe dazu Bild 1.3).

$$p_e = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}} \quad (1.8)$$

Die Differenz zweier Drücke p_1 und p_2 wird *Druckdifferenz* Δp oder auch, wenn sie selbst Meßgröße ist, *Differenzdruck* $p_{1,2}$ genannt

$$\Delta p = p_1 - p_2 = p_{1,2}. \quad (1.9)$$

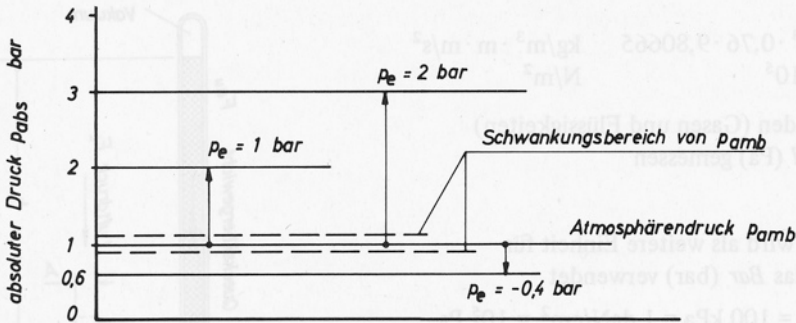


Bild 1.3 Absoluter Druck, Atmosphärendruck, Überdruck

Die Indizes der Druck-Formelzeichen sind aus dem Lateinischen abgeleitet:

abs	absolutus	losgelöst, unabhängig
amb	ambiens	umgebend
e	excedens	überschreitend

Umrechnung der seit 1.1.1978 nicht mehr zulässigen Einheiten kg/cm^2 , atm, Torr, mm Hg, m WS in die SI-Einheiten Pascal und Bar:

1 kg/cm^2	= 1 at = 98066 Pa	= 0,98066 bar
1 atm	= 101 325 Pa	= 1,01325 bar
1 Torr	= 1 atm/760	= 133,322 Pa = 1,33322 mbar
1 mm Hg	= 133,322 Pa	= 1,33322 mbar
1 m WS	= 9806,65 Pa	= 98,0665 mbar

1.2 Gasgesetze

Wie alle Gase hat auch Luft keine bestimmte Gestalt und setzt einer Formänderung nur sehr kleinen Widerstand entgegen. Luft hat aber auch kein bestimmtes Volumen, sie nimmt sofort jeden vorgegebenen Raum ein. Dieses Ausbreitungsbestreben nennt man Expansion. Luft lässt sich in außerordentlichem Maße zusammendrücken. Verdichtete Luft (Druckluft) kann in geschlossenen Behältern aufbewahrt und in Rohren weitergeleitet werden, wobei der Druck nach allen Seiten gleichmäßig wirkt.

Das Verhalten von Luft (als ideales Gas betrachtet) in Abhängigkeit von:

Druck	p_{abs}	in Pa
Volumen	V	in m^3
Temperatur	T	in K

wird durch das Gesetz von Gay-Lussac und Boyle-Mariotte festgelegt:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{konstant.} \quad (1.10)$$

Setzt man für das Volumen V das spezifische Volumen v

$$v = \frac{V}{m} \quad (1.11)$$

in Gleichung 1.10 ein, so erhält man die *Zustandsgleichung der Gase*

$$\frac{p \cdot v}{T} = R \quad (1.12a)$$

oder

$$p \cdot v = R \cdot T, \quad (1.12b)$$

wobei R die Gaskonstante ist (für Luft $R = 287,1 \text{ J/(kg K)}$).

Unter der *spezifischen Wärme* c versteht man die notwendige Wärmemenge um 1 kg Masse um 1 K zu erwärmen. Bei Gasen unterscheidet man zwischen den spezifischen Wärmen bei konstantem Volumen c_v und bei konstantem Druck c_p .

Das Verhältnis $\frac{c_p}{c_v}$ wird Adiabatenexponent κ genannt,

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (1.13)$$

und ist für Luft

$$\kappa = \frac{1,004}{0,7171} = 1,4.$$

Für $c_p - c_v$ erhält man mit Gleichung 1.13

$$c_p - c_v = c_p \cdot \frac{\kappa - 1}{\kappa} = c_v \cdot (\kappa - 1) = R. \quad (1.14)$$

1.3 Zustandsänderungen

Aus der Gleichung 1.10 ergibt sich für konstantes Volumen ($V = \text{konstant}$) die *isochore Zustandsänderung*:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} = \text{konstant}. \quad (1.15)$$

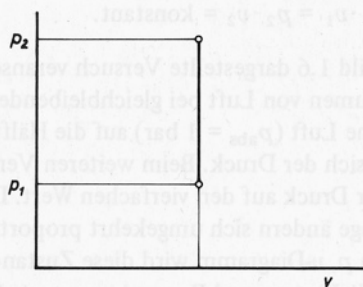
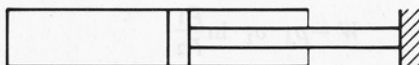


Bild 1.4

Isochore Zustandsänderung,
Volumen konstant



Im p, v -Diagramm (Bild 1.4) wird diese Zustandsänderung durch eine parallele Gerade zur Ordinate dargestellt. Da das Volumen V unverändert bleibt, ist auch die Verdichtungs- und Expansionsenergie Null.

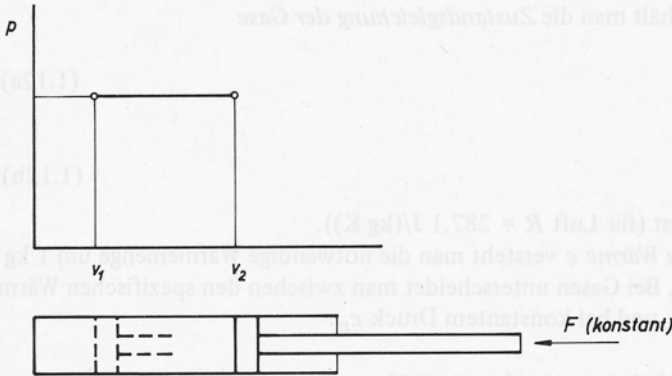


Bild 1.5

Isobare Zustandsänderung,
Druck konstant.

Für die Zustandsänderung bei konstantem Druck ($p = \text{konstant}$), die *isobare Zustandsänderung*, gilt die Gleichung:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} = \text{konstant.} \quad (1.16)$$

Im p, v -Diagramm wird diese Zustandsänderung durch eine parallele Gerade zur Abszisse dargestellt (Bild 1.5).

Die Verdichtungs- und Expansionsenergie, für 1 kg Luft, berechnet sich aus der Gleichung:

$$W = p \cdot (v_2 - v_1). \quad (1.17)$$

Für die Zustandsänderung bei konstanter Temperatur ($T = \text{konstant}$), die *isotherme Zustandsänderung*, gilt:

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2 = \text{konstant.} \quad (1.18)$$

Der in Bild 1.6 dargestellte Versuch veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Druck und Volumen von Luft bei gleichbleibender Temperatur: Wird die in einem Zylinder eingeschlossene Luft ($p_{\text{abs}} = 1 \text{ bar}$) auf die Hälfte ihres Volumens zusammengedrückt, so verdoppelt sich der Druck. Beim weiteren Verdichten der Luft auf $1/4$ des Ausgangsvolumens steigt der Druck auf den vierfachen Wert. D.h. Druck und Volumen einer eingeschlossenen Luftmenge ändern sich umgekehrt proportional, wenn die Temperatur gleich bleibt.

Im p, v -Diagramm wird diese Zustandsänderung durch eine Hyperbel dargestellt. Die Verdichtungs- und Expansionsenergie berechnet sich für 1 kg Luft aus Gleichung:

$$W = p_1 \cdot v_1 \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (1.19)$$

Für die *adiabatische Zustandsänderung*, Verdichtung oder Expansion erfolgen ohne Zu- oder Abfuhr von Wärme, gilt die Gleichung:

$$p_1 \cdot v_1^\kappa = p_2 \cdot v_2^\kappa = \text{konstant} \quad (1.20a)$$

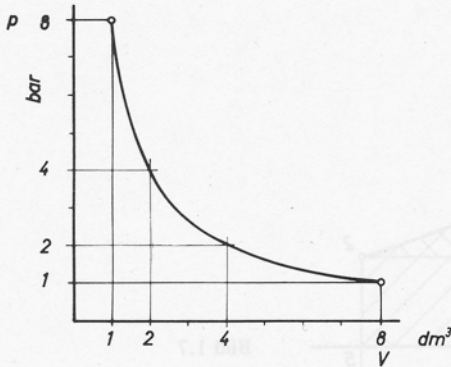
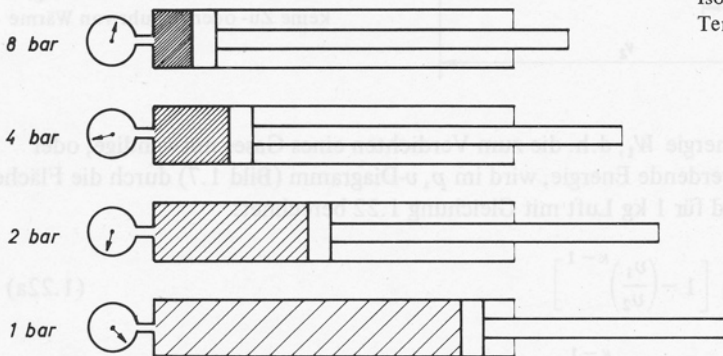


Bild 1.6

Isotherme Zustandsänderung,
Temperatur konstant



oder

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^\kappa = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad (1.20b)$$

Die Gleichung 1.21 wird im p, v -Diagramm (Bild 1.7) durch die Fläche 1, 2, 5, 6 dargestellt und entspricht der während eines Kolbenhubes geleisteten Expansionsenergie für 1 kg Luft in einer Kolbenmaschine mit geschlossenen Ventilen.

$$W = \frac{p_1 \cdot v_1}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\kappa-1} \right] \quad (1.21a)$$

$$W = \frac{p_1 \cdot v_1}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right] \quad (1.21b)$$

$$W = \frac{p_1 \cdot v_1}{\kappa - 1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (1.21c)$$

wobei c_n die spezifische Wärme bei polytropischer Zustandsänderung ist

$$c_n = c_v - \frac{c_p - c_v}{n - 1} = c_v \frac{n - \kappa}{n - 1}. \quad (1.25)$$

1.4 Strömung von Luft

1.4.1 Stationäre Strömung

Beim Ausströmen von Luft aus einem unendlich großen Behälter, bei stationärer Strömung, wird die mit Gleichung 1.22 berechnete und im p, v -Diagramm (Bild 1.7) durch Die Fläche 1, 2, 3, 4 dargestellte technische Energie W_t in kinetische Energie W_k der bewegten Masse, der ausströmenden Luftmasse, umgewandelt.

$$W_k = W_t \quad (1.26)$$

Die kinetische Energie ist durch die Gleichung

$$W_k = \frac{m \cdot w^2}{2} \quad (1.27a)$$

gegeben und kann für die Masse $m = 1$ kg geschrieben werden:

$$W_k = \frac{w^2}{2}. \quad (1.27b)$$

Wird für das Ausströmen adiabatische Zustandsänderung angenommen, wobei der Index 1 den Zustand vor und der Index 2 den Zustand im Ausströmquerschnitt kennzeichnet, kann die Gleichung 1.26 durch die Gleichungen 1.22b und 1.27b geschrieben werden:

$$\frac{w^2}{2} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} p_1 \cdot v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right], \quad (1.28a)$$

was aufgelöst nach der Ausströmgeschwindigkeit w ergibt:

$$w = \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot p_1 \cdot v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]}. \quad (1.28b)$$

Der durch einen Querschnitt A je Sekunde austretende Massenstrom q_m berechnet sich aus der Kontinuitätsgleichung:

$$q_m = A \cdot w \cdot \rho. \quad (1.29)$$

Da

$$\rho = \frac{1}{v}, \quad (1.30)$$

gilt auch

$$q_m = \frac{A \cdot w}{v}. \quad (1.31)$$

Für die adiabatische Zustandsänderung berechnet sich das spezifische Volumen v_2 aus der Gleichung 1.20

$$v_2 = v_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \quad (1.32)$$

Durch Einsetzen der Gleichungen 1.28b und 1.32 in Gleichung 1.31 erhält man für den Massenstrom

$$q_m = A \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_1}{v_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}} \right]} \quad (1.33)$$

Aus der Zustandsgleichung der Gase 1.12a erhält man

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{p_1} \quad (1.34)$$

Formt man Gleichung 1.33 mit Gleichung 1.34 um, erhält man für den Massenstrom

$$q_m = A \cdot \frac{p_1}{\sqrt{T_1}} \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}} \right]} \cdot \sqrt{\frac{2}{R}} \quad (1.35a)$$

oder

$$q_m = A \cdot p_1 \cdot \psi \sqrt{\frac{2}{R \cdot T_1}} \quad (1.35b)$$

und für den Volumenstrom

$$q_v = \frac{A \cdot p_1 \cdot \psi}{\rho} \sqrt{\frac{2}{R \cdot T_1}} \quad (1.36)$$

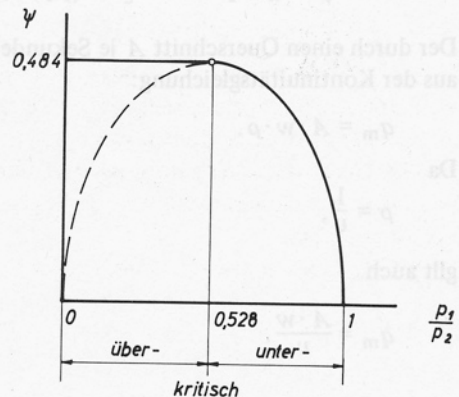
wobei die *Ausflußfunktion*

$$\psi = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}} \right]} \quad (1.37)$$

nur vom Druckverhältnis $\frac{p_2}{p_1}$ und vom Adiabatenexponenten κ abhängig ist.

Bild 1.8

Ausflußfunktion in Abhängigkeit vom Druckverhältnis $\frac{p_1}{p_2}$



Für $\frac{p_2}{p_1} = 1$ wird die Ausflußfunktion Null und erreicht beim *kritischen Druckverhältnis*

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_c}{p_1} = 0,528 \quad (1.38)$$

den Maximalwert von $\psi = 0,484$ (Bild 1.8).

Wird das kritische Druckverhältnis durch weiteres Absenken des Druckes p_2 unterschritten, bleibt $\psi = \psi_{\max}$, der Massenstrom q_m kann nicht weiter gesteigert werden, da die Ausströmgeschwindigkeit ihren Höchstwert, die Schallgeschwindigkeit c erreicht hat.

Als Schallgeschwindigkeit wird die Geschwindigkeit bezeichnet, mit der sich Druckänderungen in Gasen fortpflanzen.

Für $p_2 > p_c$ (unterkritisches Druckverhältnis) ist der Massenstrom q_m nach Gleichung 1.35 und der Volumenstrom nach Gleichung 1.36 zu berechnen.

Für $p_2 \leq p_c$ (überkritisches Druckverhältnis) ergibt sich für Luft mit $R = 287,1 \text{ J/kg K}$ und $\kappa = 1,4$ für den Massenstrom

$$q_m = \frac{A \cdot p_1}{\sqrt{T_1}} \cdot 0,0405 \quad (1.39)$$

und für den Volumenstrom

$$q_v = \frac{A \cdot p_1}{\rho_1 \cdot \sqrt{T_1}} \cdot 0,0405, \quad (1.40)$$

wobei ρ_n die Dichte der Luft bei Normzustand ist:

$$\rho_n = \frac{p}{R \cdot T} \quad (1.41)$$

Für einen Luftdruck von $p = 1,01325 \text{ bar}$, eine Temperatur von $T = 293,15 \text{ K}$ und die Gaskonstante für Luft $R = 287,1 \text{ J/kg K}$ berechnet sich die Dichte ρ

$$\rho = \frac{1,01325 \cdot 10^5}{287,1 \cdot 293,15} = 1,204 \text{ kg/m}^3.$$

1.4.2 Quasistationäre Strömung

Das Ausströmen von Druckluft aus einem Behälter ohne Zufluß oder das Einstromen von Druckluft in einen geschlossenen Behälter wird als quasistationärer Strömungsvorgang bezeichnet, d.h. die zeitabhängigen Änderungen von Geschwindigkeit, Druck und Dichte werden durch die konstante Ausström- oder Einstömgeschwindigkeit während des Betrachtungszeitraumes überlagert, und der Strömungsvorgang kann wie ein stationärer behandelt werden.

Für adiabatische Zustandsänderung im Behälter gilt nach Gleichung 1.20a

$$p \cdot v^\kappa = \text{konstant}.$$

Durch das totale Differential einer Funktion $u = f(x, y)$

$$du = \frac{\delta u}{\delta x} dx + \frac{\delta u}{\delta y} dy \quad (1.42)$$

erhält man den Zuwachs des Funktionswertes bei Änderung der Variablen. Da die Funktion konstant ist, ist der Zuwachs Null, d.h.

$$p \cdot \kappa \cdot v^{\kappa-1} \cdot dv + v^{\kappa} \cdot dp = 0, \quad (1.43a)$$

oder umgeformt durch Division mit p und v^{κ}

$$\kappa \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0, \quad (1.43b)$$

was aufgelöst nach $\frac{dp}{p}$

$$\frac{dp}{p} = -\kappa \frac{dv}{v} \quad \text{liefert.} \quad (1.43c)$$

Da nach Gleichung 1.30

$$\rho = \frac{1}{v}$$

ist, gilt

$$\frac{dp}{\rho} = \frac{d\left(\frac{1}{v}\right)}{\frac{1}{v}} = \frac{(vd1 - 1dv)v}{v^2} = -\frac{dv}{v}. \quad (1.44)$$

Also kann gleichgesetzt werden

$$\frac{dp}{p} = -\kappa \frac{dv}{v} = \kappa \frac{d\rho}{\rho}. \quad (1.45)$$

Der aus einem Querschnitt A ausströmende Massenstrom q_m ergibt sich aus der Kontinuitätsgleichung 1.29

$$q_m = A \cdot w \cdot \rho,$$

damit ist

$$\frac{dq_m}{q_m} = \frac{d(A \cdot w \cdot \rho)}{A \cdot w \cdot \rho}. \quad (1.46)$$

Da der Strömungsvorgang quasistationär ist, wird $w = \text{konstant}$ angenommen:

$$\frac{dq_m}{q_m} = \frac{A \cdot w \cdot d\rho}{A \cdot w \cdot \rho} = \frac{d\rho}{\rho}. \quad (1.47)$$

Also kann gleichgesetzt werden

$$\frac{dp}{p} = -\kappa \frac{dv}{v} = \kappa \frac{d\rho}{\rho} = \kappa \frac{dq_m}{q_m}. \quad (1.48)$$

Damit ist

$$dp = \kappa p \frac{dq_m}{q_m} \quad (1.49)$$

oder

$$\frac{dp}{dt} = \kappa \frac{p \cdot dq_m}{q_m \cdot dt} \quad (1.50a)$$

Die Druckänderung je Zeiteinheit $\frac{dp}{dt}$ im Behälter kann mit einfachen Mitteln gemessen werden, und man erhält den pro Zeiteinheit dt fließenden Massenstrom dq_m

$$\frac{dq_m}{dt} = \frac{1}{\kappa} \frac{q_m}{p} \frac{dp}{dt} \quad (1.50b)$$

Setzt man für den Massenstrom den Volumenstrom

$$q_m = q_v \cdot \rho$$

und nimmt man isotherme Zustandsänderung an, die wegen des langsamen Druckanstieges bei großen Behältervolumen auch eintreten wird, ist

$$\kappa = 1.$$

Man erhält dann aus Gleichung 1.50a

$$\frac{dp}{dt} = \frac{p \cdot dq_v \cdot \rho}{q_v \cdot \rho \cdot dt} \quad (1.50c)$$

oder

$$\frac{dp}{dt} = \frac{p_2 \cdot q_{v1} \cdot \rho_1}{q_{v2} \cdot p_2} \quad (1.50d)$$

wobei der Index 2 den Zustand im Behälter und der Index 1 den Zustand der angesaugten Luft kennzeichnet.

Durch Umformung mit Gleichung 1.41

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

erhält man aus Gleichung 1.50d

$$\frac{dp}{dt} = \frac{p_2 \cdot R \cdot T_2 \cdot q_{v1} \cdot p_1}{q_{v2} \cdot p_2 \cdot R \cdot T_1} = \frac{q_{v1}}{q_{v2}} \cdot p_2 \cdot \frac{T_2}{T_1} \quad (1.51)$$

oder für den in den Behälter ein- oder ausströmenden Volumenstrom

$$q_{v1} = \frac{q_{v2} \cdot T_1 \cdot dp_2}{p_1 \cdot T_2 \cdot dt} \quad (1.52)$$

1.4.3 Berechnung des Volumenstromes durch pneumatische Geräte

Die im Abschnitt 1.4.1 angestellten theoretischen Betrachtungen, die für Düsen und Blenden gelten, sind für die Volumenstrom-Berechnung bei Druckluftgeräten nur bedingt geeignet. Der Verlauf der Volumenstrom-Kurve wird bei Druckluftgeräten durch konstruktionsbedingte Gestaltung der Kanäle und Dichtelemente stark beeinflusst. Alle bisher gemachten Angaben über Durchflußkennwerte für Druckluftgeräte wie k_v -Wert und Nenn-durchfluß, haben zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis geführt und sind im folgenden nicht behandelt. In der CETOP-Empfehlung PR 50 P vom 20. Juni 1973 sind Möglichkeiten für die Volumenstrom- und Druckabfall-Berechnung von Einzelgeräten und in serie- oder parallel-geschalteten Geräten aufgezeigt. Der Leitwert C und das kritische Druckverhältnis b ermöglichen eine vollständige Beschreibung des Durchflußvermögens von Druckluftgeräten. Das Arbeiten mit diesen Werten setzt jedoch voraus, daß die Druckluftgeräte-Hersteller die ihren Geräten entsprechenden Daten angeben, oder daß diese Werte vom Anwender durch Messungen nach CETOP RP 50 P, die im folgenden beschrieben sind, ermittelt werden.

Sämtliche Meßwerte beziehen sich auf den ISO-Normzustand:

$$t = 20^\circ\text{C}, p_{\text{abs}} = 1,013 \text{ bar}, \rho = 1,204 \text{ g/dm}^3.$$

Die Einheit für den Volumenstrom ist dm^3/s bzw. $1/\text{s}$.

1.4.3.1 Leitwert C

Der Leitwert C eines Gerätes ist das Verhältnis des Volumenstromes q_v zum Eingangsdruck p_1 bei überkritischer Strömung

$$C = \frac{q_v}{p_1} \quad \frac{\text{dm}^3}{\text{s bar}} = \frac{\frac{\text{dm}^3}{\text{s}}}{\text{bar}} \quad (1.53)$$

Überkritische Strömung herrscht, wenn die Strömungsgeschwindigkeit an irgend einer Stelle im durchströmten Gerät der Schallgeschwindigkeit entspricht. Der Volumenstrom wird dann auch bei Steigerung des Druckgefälles nicht erhöht (siehe Abschnitt 1.4.1 Gleichung 1.38 bis 1.40).

Meßverfahren und Berechnung:

An dem in Bild 1.9 schematisch dargestellten Meßaufbau wird bei konstantem Eingangsdruck p_1 ($p_{\text{abs}} \geq 6 \text{ bar}$) der Ausgangsdruck solange verringert, bis auch bei weiterer Verringerung des Druckes p_2 keine Zunahme des Volumenstromes q_{vc} erfolgt. (Die Abmessungen der Ein- und Ausgangsmeßrohre nach CETOP RP 50 P sind in Bild 1.10 festgelegt.) Dies sagt aus, daß überkritische Strömung herrscht (Bild 1.11). Der Leitwert C wird aus den Meßwerten p_1 und q_{vc} berechnet, wobei Temperaturabweichungen von $t_1 = 20^\circ\text{C}$ durch den Korrekturfaktor zu berücksichtigen sind.

$$C = \frac{q_{vc}}{p_1} \sqrt{\frac{273 + t_1}{273}} \quad \frac{\text{dm}^3}{\text{s bar}} = \frac{\frac{\text{dm}^3}{\text{s}}}{\text{bar}} \sqrt{\frac{K + K}{K}} \quad (1.54)$$

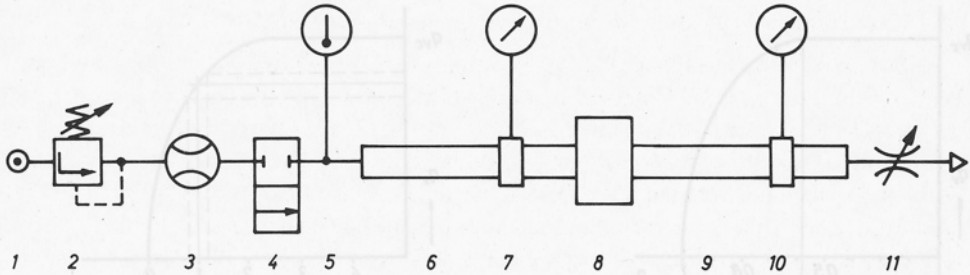


Bild 1.9 Aufbau der Meßeinrichtung zur Bestimmung der Kennwerte C und b

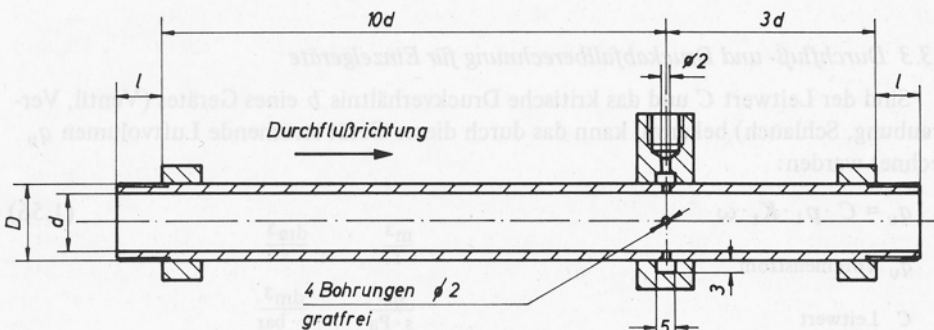
1 Druckquelle (saubere, trockene, ölfreie Luft), 2 Druckminderventil, 3 Durchflußmeßgerät, 4 Absperrventil, 5 Temperaturmeßgerät, 6 Meßrohr, 7 Druckmeßgerät, 8 zu messendes Gerät, 9 Meßrohr, 10 Druckmeßgerät, 11 Drosselventil

1.4.3.2 Kritisches Druckverhältnis b

Das kritische Druckverhältnis b eines Gerätes ist das Verhältnis $\frac{p_2}{p_1}$ bei dem, im engsten Querschnitt des Gerätes, überkritische Strömung erreicht wird. Das kritische Druckverhältnis kann, je nach Gestaltung der Strömungskanäle in einem Gerät, größer oder kleiner als der im Abschnitt 1.4.1 angegebene theoretische Wert $\frac{p_c}{p_1} = 0,528$ für das Druckverhältnis bei Blenden und Düsen sein.

Meßverfahren und Berechnung:

An dem in Bild 1.9 schematisch dargestellten Meßaufbau wird bei konstantem Eingangsdruck p_1 ($p_{\text{abs}} \geq 6$ bar) der Volumenstrom q_{vc} eingestellt und gemessen. Dann wird



D	$R^{1/8}$	$R^{1/4}$	$R^{3/8}$	$R^{1/2}$	$R^{3/4}$	$R1$	$R^{1 1/4}$	$R^{1 1/2}$
d	6	9	13	16	22	28	36	42
l	7,4	11,0	11,4	15,0	16,3	19,1	21,4	21,4

Bild 1.10

Ein- und Ausgangsmeßrohr zu Meßeinrichtung nach Bild 1.9

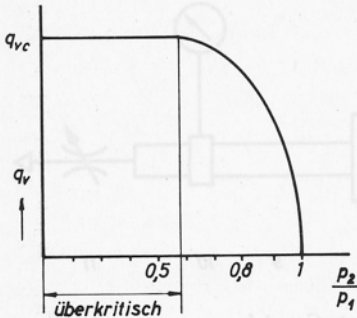


Bild 1.11 Volumenstrom q_{vc} in Abhängigkeit vom konstanten Eingangsdruck $p_{1\text{ abs}} = 6 \text{ bar}$ und vom Ausgangsdruck p_2

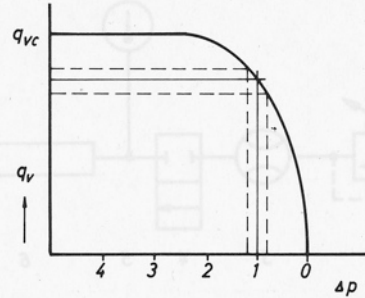


Bild 1.12 Ermittlung des Volumenstroms q_v bei einem Druckgefälle von $\Delta p \approx 1 \text{ bar}$

bei unverändertem konstanten Eingangsdruck p_1 der Volumenstrom so weit gedrosselt, daß der Druckabfall am Gerät $\Delta p \approx 1 \text{ bar}$ beträgt. Bei dieser Einstellung wird bei mehreren Δp -Werten (in der Nähe von $\Delta p = 1 \text{ bar}$, bei unterkritischer Strömung) der Volumenstrom q_{vb} gemessen (Bild 1.12). Aus diesen gemessenen Werten berechnet sich das kritische Druckverhältnis b

$$b = 1 - \frac{\Delta p}{p_1 \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{q_{vb}}{q_{vc}} \right)^2} \right]} \quad (1.55)$$

Der arithmetische Mittelwert der errechneten b -Werte ergibt das kritische Druckverhältnis b des Gerätes.

Es ist darauf zu achten, daß bei den einzelnen Messungen die Werte p_1 und t_1 unverändert bleiben.

1.4.3.3 Durchfluß- und Druckabfallberechnung für Einzelgeräte

Sind der Leitwert C und das kritische Druckverhältnis b eines Gerätes (Ventil, Verschraubung, Schlauch) bekannt, kann das durch dieses Gerät strömende Luftvolumen q_v berechnet werden:

$$q_v = C \cdot p_1 \cdot K_t \cdot \omega \quad (1.56)$$

q_v Volumenstrom

C Leitwert

p_1 Druck vor dem Gerät Eingangsdruck

K_t Korrekturfaktor für Temperaturabweichung

$$\sqrt{\frac{293}{273 + t_1}}$$

t_1 Lufttemperatur an der Eingangsseite

ω Durchflußzahl

$$\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

$$\frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{Pa}} \quad \frac{\text{dm}^3}{\text{s} \cdot \text{bar}}$$

$$\text{Pa} \quad \text{bar} \\ \text{dimensionslos}$$

$$^\circ\text{C} \quad ^\circ\text{C} \\ \text{dimensionslos}$$

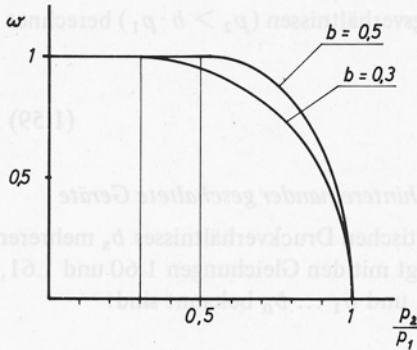


Bild 1.13

Durchflußfunktion ω für die kritischen Druckverhältnisse $b = 0,5$ und $b = 0,3$

Die Durchflußzahl ω ist eine Funktion des Druckverhältnisses p_2/p_1 ; sie ist im überkritischen Strömungsbereich 1 und folgt im unterkritischen Strömungsbereich nahezu einer Ellipse (Bild 1.13); sie wird mit Gleichung 1.57 berechnet:

$$\omega = \sqrt{1 - \left(\frac{\frac{p_2}{p_1} - b}{1 - b} \right)^2} \quad (1.57)$$

p_1 Druck vor dem Gerät

p_2 Druck nach dem Gerät

b kritisches Druckverhältnis

Pa bar

Pa bar

dimensionslos

In Bild 1.14 ist die grafische Bestimmung der Volumenstromkurve eines Gerätes unter der Voraussetzung, daß p_1 , C und b bekannt sind, dargestellt.

Die Beziehung zwischen Druckabfall und Druckverhältnis ist durch Gleichung 1.58 gegeben:

$$\frac{\Delta p}{p_1} = 1 - \frac{p_2}{p_1} \quad (1.58)$$

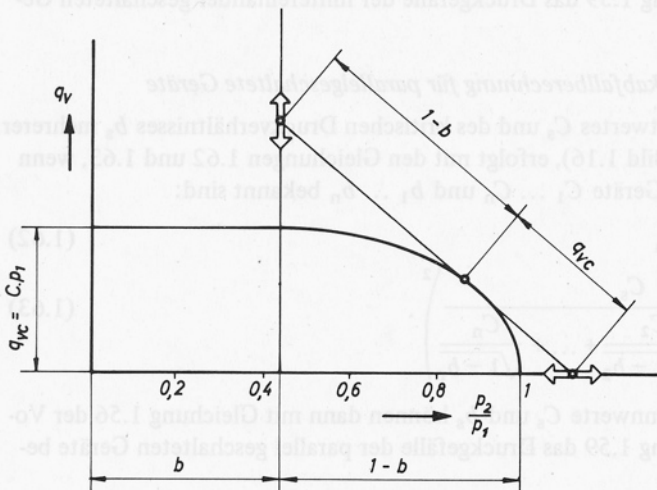


Bild 1.14

Grafische Bestimmung der Volumenstromkurve eines Druckluftgerätes

Der Druckabfall bei unterkritischen Strömungsverhältnissen ($p_2 > b \cdot p_1$) berechnet sich nach:

$$\Delta p = (1 - b) \left[p_1 - \sqrt{p_1^2 - \left(\frac{q_v}{C \cdot K_t} \right)^2} \right]. \quad (1.59)$$

1.4.3.4 Durchfluß- und Druckabfallberechnung für hintereinander geschaltete Geräte

Die Berechnung des Leitwertes C_s und des kritischen Druckverhältnisses b_s mehrerer hintereinander geschalteter Geräte (Bild 1.15), erfolgt mit den Gleichungen 1.60 und 1.61, wenn die Kennwerte der einzelnen Geräte $C_1 \dots C_n$ und $b_1 \dots b_n$ bekannt sind:

$$C_s = \sqrt[3]{\frac{1}{\frac{1}{C_1^3} + \frac{1}{C_2^3} + \dots + \frac{1}{C_n^3}}} \quad (1.60)$$

$$b_s = 1 - \left[C_s^2 \left(\frac{1 - b_1}{C_1^2} + \frac{1 - b_2}{C_2^2} + \dots + \frac{1 - b_n}{C_n^2} \right) \right]. \quad (1.61)$$

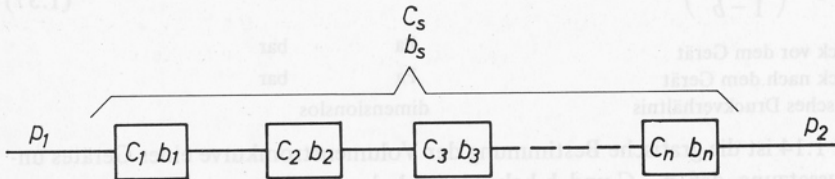


Bild 1.15 Hintereinander geschaltete Geräte

Mit Hilfe der beiden Kennwerte C_s und b_s können dann mit Gleichung 1.56 der Volumenstrom und mit Gleichung 1.59 das Druckgefälle der hintereinander geschalteten Geräte berechnet werden.

1.4.3.5 Durchfluß- und Druckabfallberechnung für parallelgeschaltete Geräte

Die Berechnung des Leitwertes C_s und des kritischen Druckverhältnisses b_s mehrerer parallel geschalteter Geräte (Bild 1.16), erfolgt mit den Gleichungen 1.62 und 1.63, wenn die Kennwerte der einzelnen Geräte $C_1 \dots C_n$ und $b_1 \dots b_n$ bekannt sind:

$$C_s = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (1.62)$$

$$b_s = 1 - \left(\frac{C_s}{\frac{C_1}{\sqrt{1 - b_1}} + \frac{C_2}{\sqrt{1 - b_2}} + \dots + \frac{C_n}{\sqrt{1 - b_n}}} \right)^2. \quad (1.63)$$

Mit Hilfe der beiden Kennwerte C_s und b_s können dann mit Gleichung 1.56 der Volumenstrom und mit Gleichung 1.59 das Druckgefälle der parallel geschalteten Geräte berechnet werden.

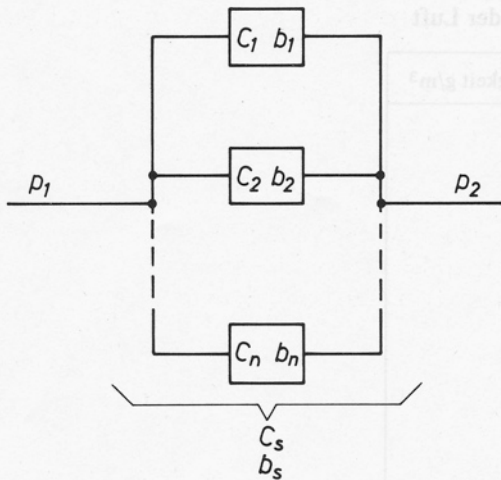


Bild 1.16
Parallel geschaltete Geräte

1.4.4 Strömung bei sehr kleinen Druckunterschieden

Sind bei Strömen die Änderungen von Druck und Volumen sehr klein, so können wie bei tropfbar flüssigen Körpern die Durchflußgleichungen für den Volumenstrom

$$q_v = A \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p / \rho} \quad (1.64)$$

und für den Massenstrom

$$q_m = A \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho} \quad (1.65)$$

verwendet werden.

Diese Gleichungen werden bei der Durchflußmessung mit genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen mit den in DIN 1952 festgelegten Korrekturwerten verwendet (siehe Abschnitt 2.13.2.2).

1.5 Luftfeuchtigkeit

In der atmosphärischen Luft ist immer eine bestimmte Menge Wasser in Dampfform enthalten. Wasserdampf ist ein unsichtbares Gas und wird erst, wenn es zu kleinen Wassertropfen kondensiert, sichtbar. Nebel ist demnach in der Luft schwebendes Wasser und nicht Wasserdampf. Von gesättigter Luft spricht man, wenn die maximale Feuchtigkeitsmenge erreicht ist, die die Luft aufnehmen kann. Die Aufnahmefähigkeit der Luft ist ausschließlich von der Temperatur und vom Volumen, nicht vom Druck abhängig.

Der maximale Feuchtigkeitsgehalt, d.h. die Gewichtsmenge Wasserdampf $\mathcal{F}$ in Gramm, die von 1 m^3 Luft bei verschiedenen Temperaturen aufgenommen werden kann, ist in Tabelle 1.3 angegeben.

Die atmosphärische Luft ist selten gesättigt; sie enthält meist nur einen Teil der in Tabelle 1.3 angegebenen Feuchtigkeitsmenge. Ungesättigte Luft kann noch Feuchtigkeit aufnehmen, der Wasserdampf ist im Zustand der Überhitzung. Die Gewichtsmenge Wasserdampf φ in Gramm, die 1 m^3 Luft tatsächlich enthält, heißt absoluter Feuchtigkeitsgehalt.

Tabelle 1.3 Maximaler Feuchtigkeitsgehalt der Luft

Lufttemperatur °C	Maximale Feuchtigkeit g/m ³
-30	0,33
-25	0,55
-20	0,88
-15	1,40
-10	2,17
-5	3,24
0	4,85
5	6,8
10	9,4
15	12,8
20	17,3
25	23,0
30	30,4
35	39,6
40	51,1
45	65,4
50	83,0
55	104,3
60	130,2
70	198,1
80	293,3
90	423,5

Das Verhältnis vom absoluten zum maximalen Feuchtigkeitsgehalt wird relative Feuchtigkeit φ genannt,

$$\varphi = \frac{\ell \cdot 100}{\mathcal{F}} \% \quad (1.66)$$

Die relative Feuchtigkeit wird mit Hygrometer gemessen und in % angegeben.

Die Temperatur, auf welche die Luft abgekühlt werden muß, damit der absolute Feuchtigkeitsgehalt zum maximalen wird, heißt Taupunkt. Nach Unterschreiten des Taupunktes beginnt Wasserdampf zu kondensieren.

2 Bauglieder einer pneumatischen Steuerung

2.1 Allgemeines

Jede Antriebsart kann in Richtung des Energieflusses in folgende Gruppen eingeteilt werden (Bild 2.1):

Energieumformung
 Energieübertragung
 Energiesteuerung
 Energieübertragung
 Energieumformung

Bei hydraulischen Antrieben und Steuerungen müssen alle 5 Gruppen beachtet und in die Berechnung der Anlage einbezogen werden. Bei elektrischen und pneumatischen Antrieben und Steuerungen haben wir meistens zentrale Energieversorgung, d.h.: die Herstellung und Verteilung der Druckluft oder des elektrischen Stromes, (Energieumformung und Energieübertragung) brauchen nicht für jede Anlage ausgelegt und berechnet werden. Das Betriebsmittel – die Energie – wird dem Verbraucher in Hauptleitungen zugeführt, und die Auslegung der Anlage beschränkt sich auf die Steuerelemente und die Antriebsglieder (Energiesteuerung – Energieübertragung – Energieumformung) (Bild 2.2).

Als reine Steuerungen werden jene Steuerungen bezeichnet, bei denen im energetischen und im informatorischen Teil dasselbe Arbeitsmedium verwendet wird, z.B. rein pneumatische Steuerung.

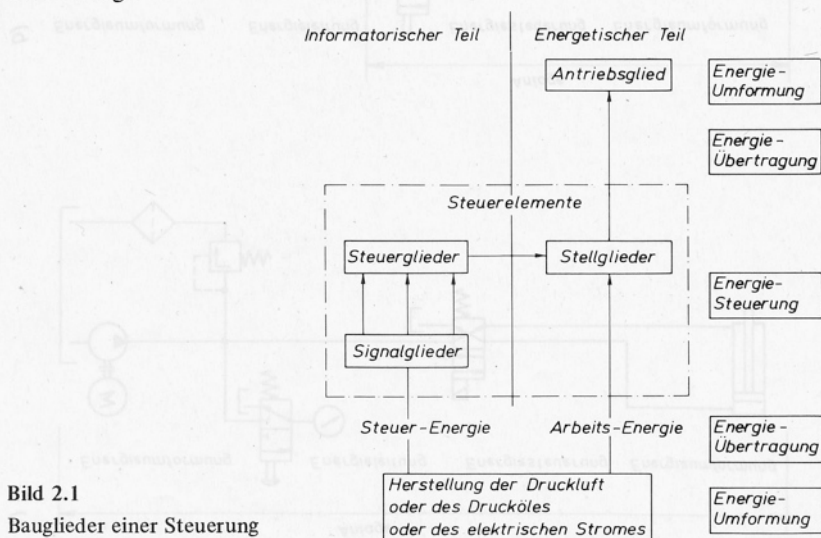


Bild 2.1
 Bauglieder einer Steuerung

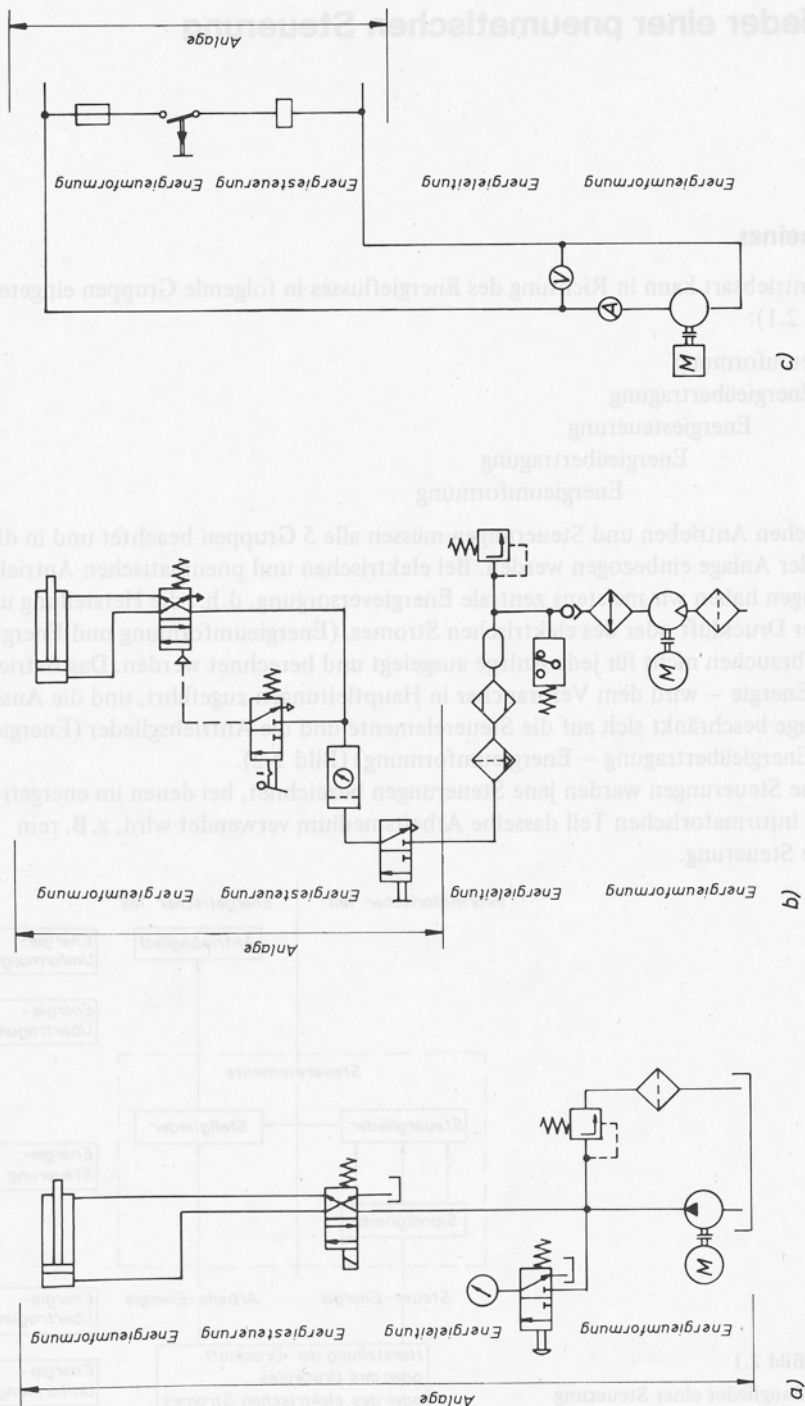


Bild 2.2 Gegenüberstellung von Hydraulik – Pneumatik – Elektrik
a) Hydraulische Steuerung, b) Pneumatische Steuerung, c) Elektrische Steuerung

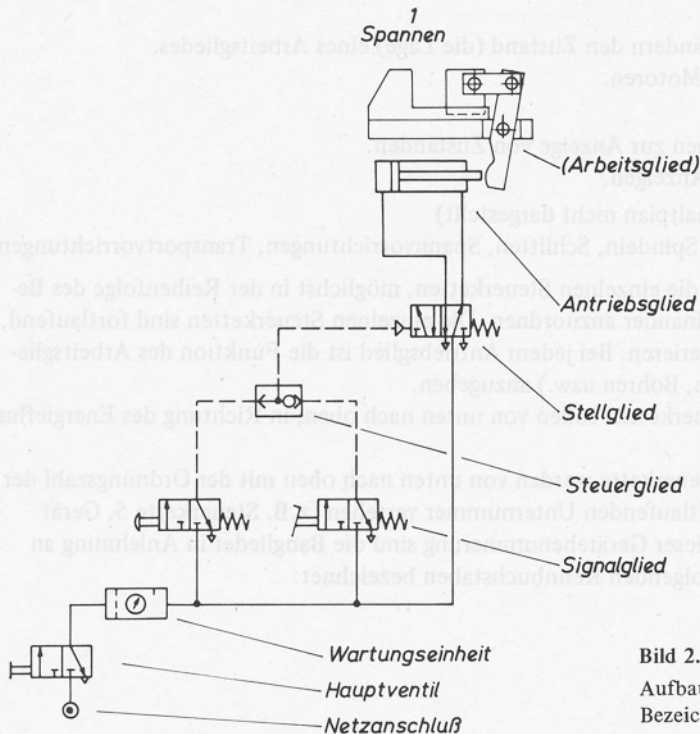


Bild 2.3

Aufbau einer Steuerkette und
Bezeichnung der Bauglieder

Als gemischte Steuerungen werden die Steuerungen bezeichnet, bei denen im energetischen und im informatorischen Teil verschiedene Arbeitsmedien verwendet werden, z.B. elektropneumatische Steuerungen, elektrohydraulische Steuerungen, pneumohydraulische Steuerungen.

Jede Steuerung besteht aus mindestens einer Steuerkette. Unter dem Begriff Steuerkette sind alle Bauglieder zusammengefaßt, die notwendig sind, um ein Antriebsglied zu steuern (Bild 2.3).

Die Bauglieder einer Steuerkette werden nach VDI-Richtlinie 3260 bezeichnet:

Signalglied

Signalglieder geben bei bestimmten Werten einer physikalischen Größe Signale ab, sie können Befehlsgeber und Melder sein.

Beispiel: Drucktaster (Wegeventile), Zeitglieder, Druckschalter, Sensoren.

Steuerglied

Steuerglieder bestimmen den Signalfluß zwischen Signalglied und Stellglied nach vorgegebenen Bedingungen.

Beispiel: Wegeventile, Sperrventile, Wandstrahlelemente.

Stellglied

Stellglieder steuern den Energiefluß zum Antriebsglied. Sie verändern den Zustand der Antriebsglieder.

Beispiel: Wegeventile, Kupplungen.

Antriebsglied

Antriebsglieder verändern den Zustand (die Lage) eines Arbeitsgliedes.

Beispiel: Zylinder, Motoren.

Anzeigeglied

Anzeigeglieder dienen zur Anzeige von Zuständen.

Beispiel: Optische Anzeigen.

Arbeitsglied (wird im Schaltplan nicht dargestellt)

Arbeitsglieder sind Spindeln, Schlitten, Spannvorrichtungen, Transportvorrichtungen.

Im Schaltplan sind die einzelnen Steuerketten, möglichst in der Reihenfolge des Bewegungsablaufes, nebeneinander anzuordnen. Die einzelnen Steuerketten sind fortlaufend, mit 1 beginnend, zu numerieren. Bei jedem Antriebsglied ist die Funktion des Arbeitsgliedes (z.B. Heben, Spannen, Bohren usw.) anzugeben.

Die Geräte der Steuerketten sollen von unten nach oben, in Richtung des Energieflusses, gezeichnet werden.

Die Geräte jeder Steuerkette werden von unten nach oben mit der Ordnungszahl der Steuerkette und einer fortlaufenden Unternummer versehen (z.B. Steuerkette 5, Gerät 2 = 5.2). Zusätzlich zu dieser Gerätebenummerung sind die Bauglieder in Anlehnung an DIN 40719 Blatt 2 mit folgenden Kennbuchstaben bezeichnet:

Signalglieder S..

Stellglieder Y..

Zylinder Z..

Motoren M..

Jeder pneumatischen Steuerung ist eine Wartungseinheit und ein Absperrventil (Hauptventil) vorzuschalten. Da diese Geräte keiner Steuerkette zugeordnet werden können, sind sie mit der Ordnungszahl 0 (Null) und einer fortlaufenden Unternummer zu versehen.

Die in den folgenden Abschnitten 2.2 bis 2.6 behandelten Geräte sind nicht unmittelbar in die Reihe der Bauglieder einer pneumatischen Steuerung einzuordnen. Sie dienen zur Herstellung und Aufbereitung der Druckluft und werden nicht umfassend behandelt.

Als ergänzende Literatur kann genannt werden:

Kompressoren Installations Handbuch, Atlas Copco

Taschenbuch für Druckluftbetrieb, FMA/Pokorny, Springer-Verlag

2.2 Verdichter**2.2.1 Allgemeines**

Druckluft wird in Verdichtern (Kompressoren) hergestellt. Je nach Bauform und Antriebsleistung können Drücke zwischen wenigen Pascal und 1000 bar und Volumenströme zwischen wenigen Liter/min (Normzustand) und 50000 m³/min (Normzustand) erzeugt werden.

Die von den Verdichtern angesaugte atmosphärische Luft enthält je nach Wetterlage mehr oder weniger Wasser in Form von überhitztem, also trockenen und unsichtbaren Wasserdampf. Da die Wasseraufnahmefähigkeit der Luft ausschließlich von der Tempera-

tur und vom Volumen, nicht aber vom Druck abhängt, muß die relative Feuchtigkeit der verdichteten Luft immer höher liegen als die der angesaugten. Meistens wird sogar die maximale Aufnahmefähigkeit überschritten und bei der Rückkühlung nach dem Verdichter kondensiert Wasserdampf. Je nach Anforderung an die Qualität der Druckluft sind entsprechende Druckluftaufbereitungsanlagen in Form von Nachkühlern oder Trocknern einzusetzen.

Bei der Erstellung einer Verdichterstation sind für die Auswahl der in Frage kommenden Aggregate folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Bestimmung des Betriebsdruckes
- Bestimmung des Volumenstromes
- Anforderung an die Qualität der Druckluft
- Zentrale oder dezentrale Druckluftversorgung

Nach der Art der Verdichtung unterscheidet man zwei Bauarten:

Verdrängungsverdichter und Strömungsverdichter

Bei Verdrängungsverdichtern wird nach dem Ansaugen der Luft der Verdichtungsraum geschlossen, und das Volumen der angesaugten Luft wird unter Krafteinwirkung so lange verkleinert, bis der Druck im Verdichtungsraum den Wert des Druckes im nachgeschalteten Leitungssystem erreicht hat.

Verdrängungsverdichter sind:

- Hubkolbenverdichter
- Membranverdichter
- Vielzellenverdichter
- Schraubenverdichter

Bei Strömungsverdichtern wird die angesaugte Luft durch rotierende Laufräder auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt und die kinetische Energie anschließend in einem Diffusor in statischen Druck umgewandelt.

Strömungsverdichter werden gebaut als:

- Axial-Turboverdichter
- Radial-Turboverdichter

2.2.2 Hubkolbenverdichter

Bei einfachwirkenden Hubkolbenverdichtern wird von dem sich nach unten bewegenden Kolben über den Ansaugstutzen, dem ein Luftfilter vorgeschaltet ist, atmosphärische Luft durch das geöffnete Ansaugventil in den Zylinderraum gesaugt (Bild 2.4). Bewegt sich der Kolben nach oben, schließt das Ansaugventil, und die angesaugte Luft wird verdichtet. Übersteigt der Druck im Zylinder den Federdruck des Auslaßventiles und den Gegendruck im nachgeschalteten Leitungssystem, wird die verdichtete Luft aus dem Zylinder gedrückt. Bei doppeltwirkenden Hubkolbenverdichtern wird sowohl beim Aufwärtshub als auch beim Abwärtshub verdichtet (Bild 2.5).

Die Ventile sind wichtige, sehr hoch beanspruchte Elemente des Kolbenverdichters. Von ihrer Funktion hängt nicht nur die Wirtschaftlichkeit der Verdichtung, sondern auch die Konstanz der Liefermenge und des Druckes ab.

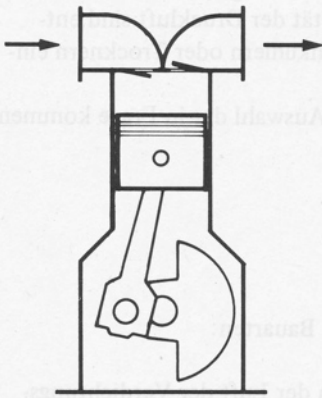


Bild 2.4
Einfachwirkender Hubkolbenverdichter

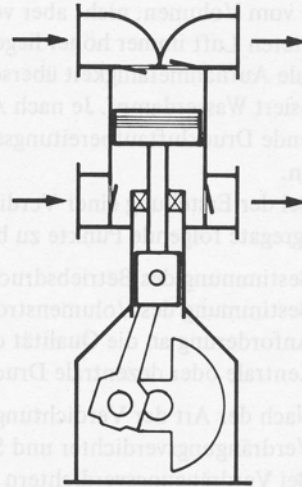


Bild 2.5
Doppeltwirkender Hubkolbenverdichter

Die Herstellung von Druckluft bis $p_e = 4$ bar kann in einstufigen Verdichtern erfolgen. Drücke über $p_e = 4$ bar können wirtschaftlich nur in zwei- oder mehrstufigen Verdichtern erzeugt werden.

Für die Erzeugung von Druckluft in Industrieanlagen ($p_e = 7$ bar) werden in der Regel zweistufige, doppeltwirkende Verdichter eingesetzt, da sie wirtschaftlich und zuverlässig sind.

Um die bei der Verdichtung entstehende Wärme abführen zu können, sind die Verdichter mit einem Kühlsystem ausgerüstet. Luftkühlung wird vorwiegend bei Verdichtern mit Volumenströmen bis $30 \text{ m}^3/\text{min}$ (Normzustand) eingesetzt, wogegen Verdichter mit höheren Volumenströmen mit Wasserkühlung ausgerüstet sind.

Die Regelung des Volumenstromes kann durch Ventilentlastung erfolgen, d.h. die Saugventile werden während des Verdichtungshubes offen gehalten. Bei doppeltwirkenden Verdichtern können, wenn die Verdichtungsräume über und unter dem Kolben getrennt entlastet oder belastet werden können, die Betriebszustände Vollast, Halblast oder Leerlauf erreicht werden.

Bei der Aussetzregelung wird der Start- und Stopvorgang des Verdichterantriebes durch Druckschalter, die den Druck im Druckluftbehälter kontrollieren, geregelt.

Für den automatischen Betrieb einer Verdichteranlage ist die Kombination beider Regelsysteme wirtschaftlich. Wird für kürzere Zeit keine Druckluft verbraucht, läuft der Verdichter im Leerlauf durch Ventilentlastung. Wird während einer einstellbaren längeren Zeit keine Druckluft verbraucht, wird der Antriebsmotor abgeschaltet. Daraus ergibt sich bei Vermeidung von langen Leerlaufzeiten eine geringe Schaltheufigkeit.

Öl aus der Druckluft weitgehendst ausgeschieden. Das ausgeschiedene Öl fließt in den Ölsumpf zurück und von dort über einen Ölkühler und einen Filter wieder zur Einspritzdüse. Die Kühlung des Öles erfolgt durch Luft oder Wasser.

Vielzellenverdichter werden für Volumenströme bis $17 \text{ m}^3/\text{min}$ (Normzustand) und Drücke bis $p_e = 8 \text{ bar}$ als einstufige Verdichter gebaut. Mit zweistufigen Verdichtern werden Drücke bis $p_e = 14 \text{ bar}$ und Volumenströme bis $3 \text{ m}^3/\text{min}$ (Normzustand) erreicht.

2.2.5 Schraubenverdichter

Schraubenverdichter arbeiten ohne Ventile, die Steuerkanten für Ein- und Auslaß sind im Gehäuse festgelegt. Die beiden Schraubenläufer sind im Verdichtergehäuse parallel zueinander gelagert. Der angetriebene Läufer (Hauptläufer) hat ein positives, der Nebeläufer ein negatives Schraubenprofil, so daß mit dem Gehäuse Kammern gebildet werden, die bei jeder Umdrehung durch das Ineinanderkämmen der Läufer ihr Volumen kontinuierlich verändern. Auf der Ansaugseite wird durch die sich öffnenden Schraubengänge atmosphärische Luft angesaugt. Auf der Druckseite greifen die Schraubengänge wieder ineinander und verkleinern das Volumen der angesaugten Luft solange, bis sie durch die Austrittsöffnung in das nachgeschaltete Leitungssystem entweichen kann (Bild 2.8).

Der Verdichtungs Vorgang erfolgt berührungsfrei. Zur Kühlung und zur besseren Abdichtung von Läufers und Gehäuse wird Öl in den Verdichtungsraum eingespritzt, das ähnlich wie bei den Vielzellenverdichtern in einem Kreislauf – Verdichter, Ölabscheider, Ölsumpf, Kühler, Filter, Verdichter – umgewälzt wird.

Schraubenverdichter werden für Volumenströme bis $30 \text{ m}^3/\text{min}$ (Normzustand) und Drücke bis $p_e = 7 \text{ bar}$ hergestellt.

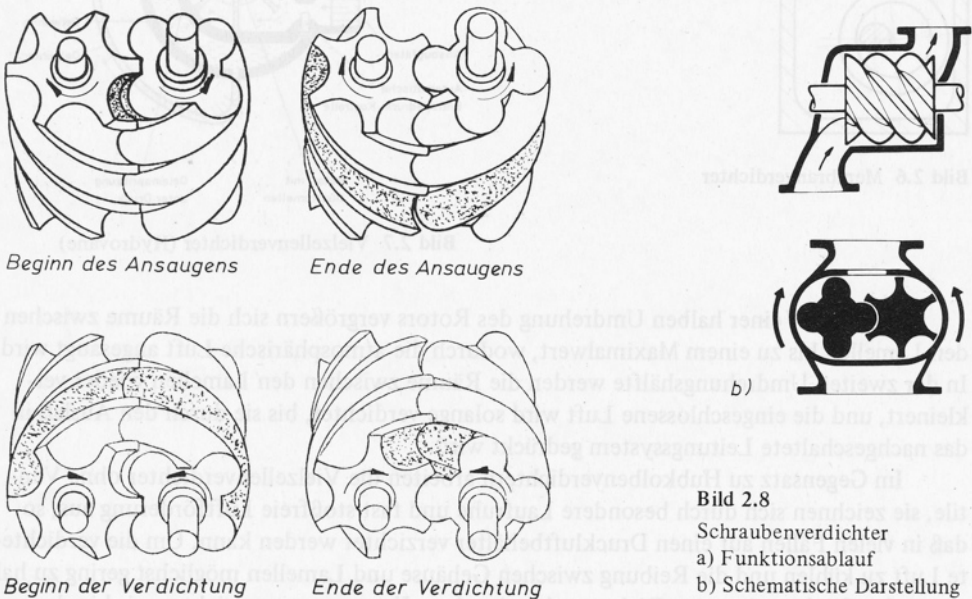


Bild 2.8

Schraubenverdichter

a) Funktionsablauf

b) Schematische Darstellung

2.2.6 Strömungsverdichter

Strömungsverdichter oder Turboverdichter werden als Axialverdichter und als Radialverdichter (Bild 2.9) in ein- und mehrstufigen Ausführungen gebaut. Sie liefern ölfreie Druckluft und werden wirtschaftlich für sehr große Volumenströme bei Drücken bis $p_e = 10$ bar eingesetzt.

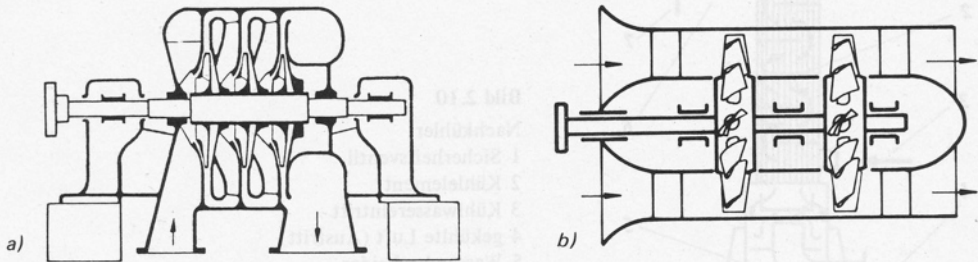


Bild 2.9 Strömungsverdichter a) Turboverdichter, b) Axialverdichter

2.3 Nachkühler

Bei den hohen Temperaturen im Verdichter und in der Leitung zum Nachkühler fällt kein Kondensat aus, da der tatsächliche Wassergehalt der verdichteten Luft unter dem maximal möglichen liegt. Wird im Nachkühler die Temperatur der Luft bis zum Taupunkt abgesenkt, so fällt beim weiteren Abkühlen Wasserdampf als Kondensat aus. Jeder Nachkühler ist daher mit einem gut wirkenden Wasserabscheider auszurüsten. Die aus dem Nachkühler austretende Druckluft ist meist 100 % mit Wasserdampf gesättigt und bei jeder weiteren Abkühlung wird erneut Wasser abgeschieden.

Mit luftgekühlten Nachkühlern werden Drucklufttemperaturen von $+ 30\text{ °C}$ bis $+ 35\text{ °C}$ am Kühleraustritt erreicht. Mit wassergekühlten Nachkühlern (Bild 2.10) werden Luftaustrittstemperaturen erreicht, die 10 bis 15 °C über der Kühlwasser-Eintrittstemperatur liegen; d.h. wenn Kühlwasser mit $+ 10\text{ °C}$ zur Verfügung steht, so ist bei günstigsten Verhältnissen eine Luft-Temperatur von $+ 20\text{ °C}$ nach dem Kühler erreichbar.

2.4 Druckluftbehälter

In jeder Verdichteranlage ist anschließend an den Nachkühler ein Druckluftbehälter zu installieren, der folgende Aufgaben zu erfüllen hat:

- Ausgleich der vom Verdichter herrührenden Druckstöße,
- Kühlung der Druckluft und Kondensatabscheidung;
- Speicherung der Druckluft, dadurch Druckausgleich im Leitungsnetz und Verhinderung zu hoher Schalthäufigkeit des Verdichters.

Die erforderliche Behältergröße soll abgestimmt werden mit dem Volumenstrom und dem Regelsystem des Verdichters und der Art des Luftverbrauches (gleichmäßiger Verbrauch oder plötzlich auftretender Spitzenverbrauch).

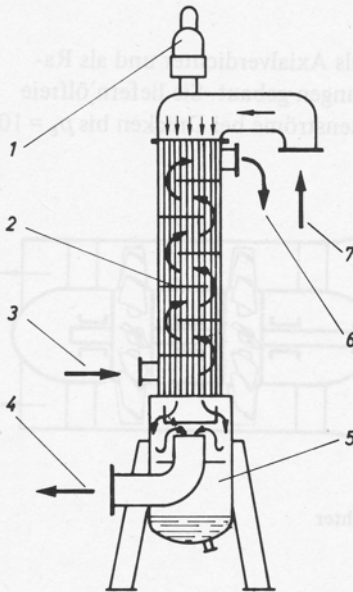


Bild 2.10

Nachkühler

1 Sicherheitsventil

2 Kühlelement

3 Kühlwassereintritt

4 gekühlte Luft (Austritt)

5 Wasserabscheider

6 Kühlwasseraustritt

7 heiße Luft (Eintritt)

Als Richtwert für die Behältergröße kann, bei Aussetzregelung mit 15 Schaltungen pro Stunde und einer Druckdifferenz von 1 bar, das Behältervolumen (m^3) dem Lieferstrom des Verdichters (m^3/min Normzustand) gleichgesetzt werden. Bei Leerlaufregelung kann das Behältervolumen 40 % des Verdichter-Lieferstromes betragen.

Wegen besserer Kühlung sollen Druckluftbehälter möglichst im Freien, an der Schattenseite eines Gebäudes aufgestellt werden.

Auslegung, Konstruktion und Inspektion von Druckluftbehältern werden durch Vorschriften geregelt, die von besonderen Behörden der Länder erlassen werden. (In der Bundesrepublik Deutschland vom Technischen Überwachungsverein.)

2.5 Druckluft-Trockner

2.5.1 Allgemeines

Nach dem Abscheiden des Kondenswassers im Nachkühler und Druckluftbehälter ist die Druckluft meist 100 % mit Wasserdampf gesättigt und es wird erneut Kondenswasser ausfallen, wenn die Luft im Leitungssystem weiter abgekühlt wird. Ist am Verwendungsort trockene Luft notwendig, muß der Taupunkt unter die Umgebungstemperatur abgesenkt werden.

Zur Trocknung von Druckluft haben sich in der Praxis verschiedene Methoden bewährt, deren Einsatz hauptsächlich von den Taupunktanforderungen bestimmt wird. Für die Kennzeichnung von Trocknungsanlagen werden folgende Taupunktbezeichnungen verwendet:

Drucktaupunkt ist die tiefste Lufttemperatur, die in einem Trockner unter Betriebsdruck erreicht wird.

Atmosphärischer Taupunkt ist ein vom Drucktaupunkt hochgerechneter Wert, der sich mit Hilfe des folgenden Beispiels erklären läßt.

Beispiel: Wird in einem Trockner 1 m^3 Druckluft von $p_e = 7 \text{ bar}$ auf $t = +5 \text{ }^\circ\text{C}$ abgekühlt und das anfallende Kondensat vollständig ausgeschieden, ist der Wassergehalt der Druckluft $\mathcal{F} = 6,8 \text{ g/m}^3$ (siehe Tabelle 1.3).

Das heißt, der Drucktaupunkt ist $+5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Wird dieser 1 m^3 Druckluft auf atmosphärischen Druck $p_{\text{abs}} = 1 \text{ bar}$ entspannt und auf $20 \text{ }^\circ\text{C}$ erwärmt, dann berechnet sich das Volumen der entspannten Luft:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2}$$

$$V_2 = \frac{8 \cdot 1 \cdot 293}{278 \cdot 1} \frac{\text{bar} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}}{\text{K} \cdot \text{bar}}$$

$$V_2 = 8,43 \text{ m}^3$$

Der Wassergehalt der Druckluft ($\mathcal{F} = 6,8 \text{ g/m}^3$) wird jetzt von den $8,43 \text{ m}^3$ Luft mit $p_{\text{abs}} = 1 \text{ bar}$ aufgenommen, d.h. der Wassergehalt je m^3 atmosphärischer Luft ist:

$$\varphi = \frac{6,8 \text{ g}}{8,43 \text{ m}^3} = 0,81 \text{ g/m}^3$$

Nach Tabelle 1.3 ergibt sich die Sättigungstemperatur für $\mathcal{F} = 0,81 \text{ g/m}^3$ von $-21 \text{ }^\circ\text{C}$. Das heißt, der atmosphärische Taupunkt ist $-21 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.5.2 Kältetrockner

Feuchte Druckluft mit $t = +30 \text{ }^\circ\text{C}$ wird dem Luft/Luft-Wärmetauscher zugeführt, wodurch eine Vorkühlung stattfindet. Im anschließenden Luft/Kältemittel-Tauscher wird die Druckluft auf $t = +2 \text{ }^\circ\text{C}$ gekühlt, wobei Kondensat ausfällt, das im nachgeschalteten Abscheider und Filter zurückgehalten wird. Im Luft/Luft-Wärmetauscher wird die trockene Luft dann wieder durch Gegenstrom-Wärmetausch mit der eintretenden feuchten Luft auf ca. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ erwärmt (Bild 2.11). Der Einsatzbereich dieser Anlagen ist dadurch begrenzt, daß der erzielte Drucktaupunkt wegen der sonst eintretenden Kondensatvereisung wenige Grad über $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ liegen muß.

2.5.3 Adsorptionstrockner

Bei der Adsorptionstrocknung handelt es sich um einen physikalischen Vorgang. Adsorptionstrockner bestehen aus zwei Behältern, die mit Trockenmittel gefüllt sind und sich gegenseitig ergänzen. Während durch den einen Behälter feuchte Druckluft zum Trockenausgang geleitet wird, wird das Trockenmittel im anderen Behälter regeneriert. Das Regenerieren der Trockenmasse erfolgt entweder mit Heißluft oder durch einen Teilstrom bereits

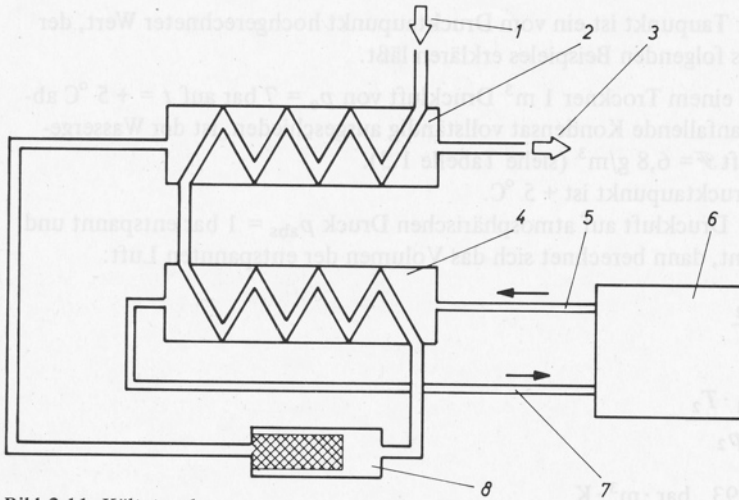


Bild 2.11 Kältetrockner

1 feuchte Druckluft, 2 Luft/Luft-Wärmetauscher, 3 trockene Druckluft, 4 Luft/Kältemittel-Wärmetauscher, 5 Kältemittel (Frigen)-Vorlauf, 6 Kältemaschine, 7 Kältemittel-Rücklauf, 8 Wasserabscheider und Filter

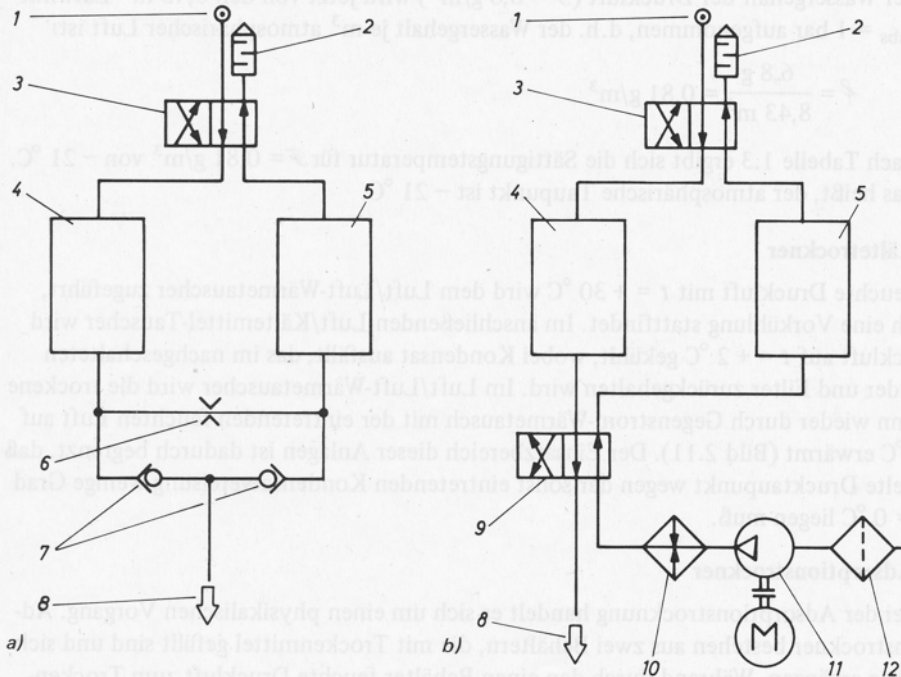


Bild 2.12 Adsorptionstrockner

a) Kaltluftregenerierter Adsorptionstrockner, b) Heißluftregenerierter Adsorptionstrockner
1 feuchte Druckluft, 2 Regenerierluft-Austritt, 3 Umschaltventil, 4 Trockenturm (trocknend), 5 Trockenturm (regenerierend), 6 Drossel, 7 Rückschlagventil, 8 trockene Druckluft, 9 Umschaltventil, 10 Wärmetauscher (elektrisch-heißwasser- oder dampfbetrieben), 11 Verdichter, 12 Luftfilter

getrockneter Luft. Das Umschalten von einem auf den anderen Behälter erfolgt je nach Bauart von Hand oder automatisch (Bild 2.12).

Für die Drucklufttrocknung stehen verschiedene Trockenmittel zur Verfügung; so können zum Beispiel mit Silicagel Drucktaupunkte bis maximal $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht werden. Für tiefere Taupunkte bis $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$ und für die Absorption von Öldämpfen wird Spezial-Molekularsieb verwendet.

2.5.4 Absorptionstrockner

Bei der Absorptionstrocknung handelt es sich um einen chemischen Vorgang. Der Aufbau eines Absorptionstrockners ist, wie in Bild 2.13 dargestellt, sehr einfach. Die Anlage besteht aus einem Behälter, der teilweise mit Trockenmittel (meist Harnstoff- oder Kochsalzbasis) gefüllt ist. Die am unteren Anschluß eintretende feuchte Druckluft strömt durch das Absorptionsmittel zum oberen Anschluß des Behälters. Dabei geht die Feuchtigkeit der Druckluft mit dem Trockenmittel eine chemische Verbindung ein und tropft als Trockenmittel-Wasser-Verbindung in den Behälterboden, aus dem sie manuell oder automatisch entfernt werden muß.

Von 1 kg Trockenmittel können 8 ... 13 kg Wasser gebunden werden, der Trockenmittelverbrauch ist daher von der Feuchtigkeit der Druckluft abhängig. Die erzielbaren Taupunkte liegen meist über dem Gefrierpunkt; so wird zum Beispiel bei Druckluft mit $p_e = 7$ bar und der Eintrittstemperatur von $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ein Drucktaupunkt von $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht. Bei Betriebsdrücken unter $p_e = 2$ bar und Druckluft-Eintrittstemperaturen über $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ findet keine ausreichende Absorption statt.

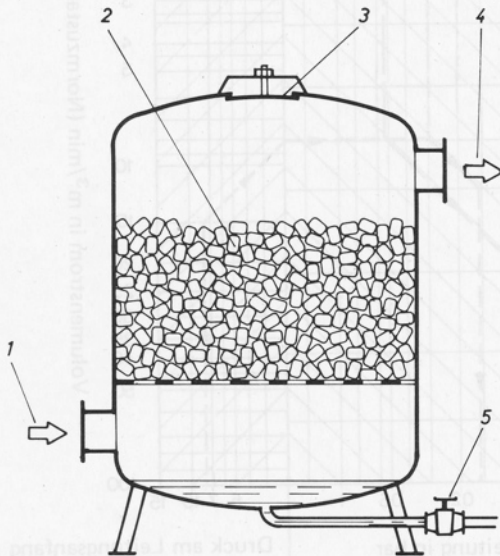


Bild 2.13

Absorptionstrockner

1 feuchte Druckluft

2 Trockenmittel

3 Nachfüllöffnung

4 trockene Druckluft

5 Kondensatablaß

2.6 Hauptleitungen

Die Ursache unzureichender Luftversorgung ist in den meisten Fällen nicht die Verdichteranlage, sondern das Luftverteilungsnetz. Bedingt durch die Länge der Rohrleitungen und die Rauheit der Innenwandung der Rohre, die Zahl der eingebauten Krümmen, T-Stücke und Schieber, entsteht ein Druckabfall am Ende der Hauptleitungen der 0,3 bar nicht überschreiten soll. Es ist vorteilhaft Ringleitungen zu verlegen, wodurch ein besserer Druckausgleich im gesamten Hauptleitungssystem erreicht wird.

Die, für die verschiedenen Volumenströme notwendigen Rohr-Durchmesser können mit ausreichender Genauigkeit dem Nomogramm (Bild 2.14) entnommen werden. Strömungswiderstände, die sich aus eingebauten Armaturen ergeben, sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt und in gleichwertige Rohrlängen umgerechnet, so daß sie den tatsächlichen Rohrlängen für die Berechnung des Druckabfalles zugeschlagen werden müssen.

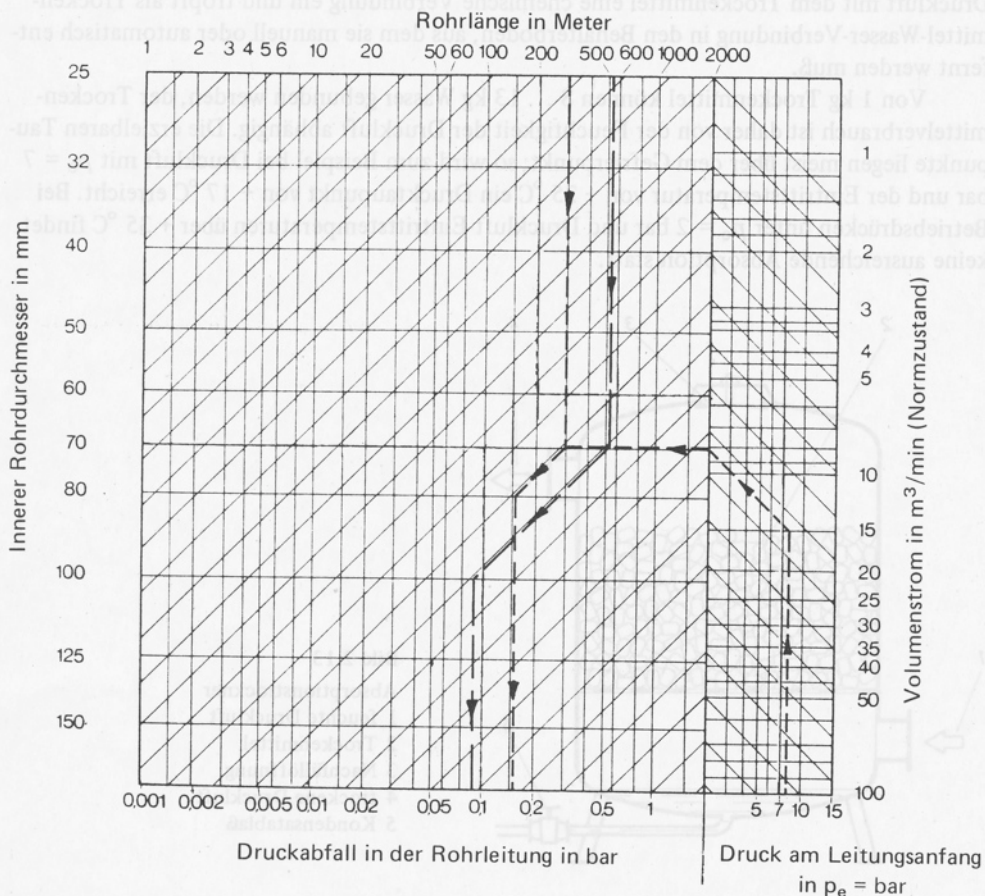


Bild 2.14 Nomogramm für die Dimensionierung von Druckluftleitungen

Druckluft-Hauptleitungen sind mit einem Gefälle von 1 bis 2 % in Strömungsrichtung zu verlegen und an den tiefsten Stellen des Leitungsnetzes sind Wassersäcke oder Wasserabscheider möglichst mit automatischer Entwässerung anzubringen (Bild 2.15). Um das Eindringen von Kondenswasser in die pneumatischen Anlagen zu verhindern, sind die Abzweigungen von den Hauptleitungen an der Rohroberseite anzubringen, Abzweigungen zum Ablassen von Kondensat, werden dagegen an der Unterseite des Rohres angebracht.

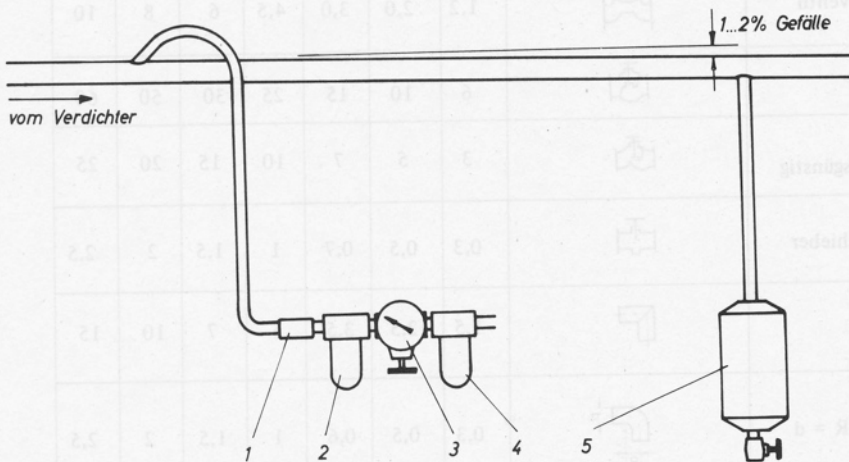


Bild 2.15 Hauptleitungen und Abzweigungen

1 Hauptventil (Handschiebeventil), 2 Filter, 3 Regler, 4 Öler, 5 Kondensatsammelbehälter (Wasserabscheider)

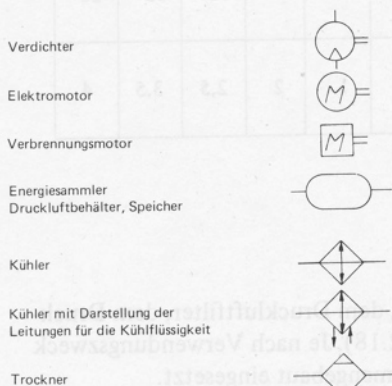


Bild 2.16

Sinnbilder der in Abschnitt 2.2 bis 2.6
besprochenen Geräte (Druckluftherstellung)

Tabelle 2.1 In Rohrlängen umgerechnete Strömungswiderstände verschiedener Armaturen

Armatur		Gleichwertige Rohrlänge (m)						
		Rohr-Innendurchmesser (mm)						
		25	40	50	80	100	125	150
Membranventil		1,2	2,0	3,0	4,5	6	8	10
Sitzventil		6	10	15	25	30	50	60
Sitzventil strömungsgünstig		3	5	7	10	15	20	25
Absperrschieber		0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5
Winkel		1,5	2,5	3,5	5	7	10	15
Krümmer $R = d$		0,3	0,5	0,6	1	1,5	2	2,5
Krümmer $R = 2d$		0,15	0,25	0,3	0,5	0,8	1	1,5
T-Stück		2	3	4	7	10	15	20
Reduzierstück		0,5	0,7	1	2	2,5	3,5	4

2.7 Wartungseinheit

2.7.1 Allgemeines

Die Wartungseinheit besteht aus 3 Einzelgeräten, dem Druckluftfilter, dem Druckluftregler und dem Druckluftöler (Bild 2.17 und Bild 2.18). Je nach Verwendungszweck werden die Geräte einzeln oder zu einer Einheit zusammengebaut eingesetzt.

Mit Hilfe der Wartungseinheit wird die Druckluft in einen Zustand gebracht, der ein einwandfreies arbeiten aller nachgeschalteten Geräte gewährleistet, ihre Lebensdauer verlängert und dadurch Reparatur- und Stillstandszeiten vermeidet.

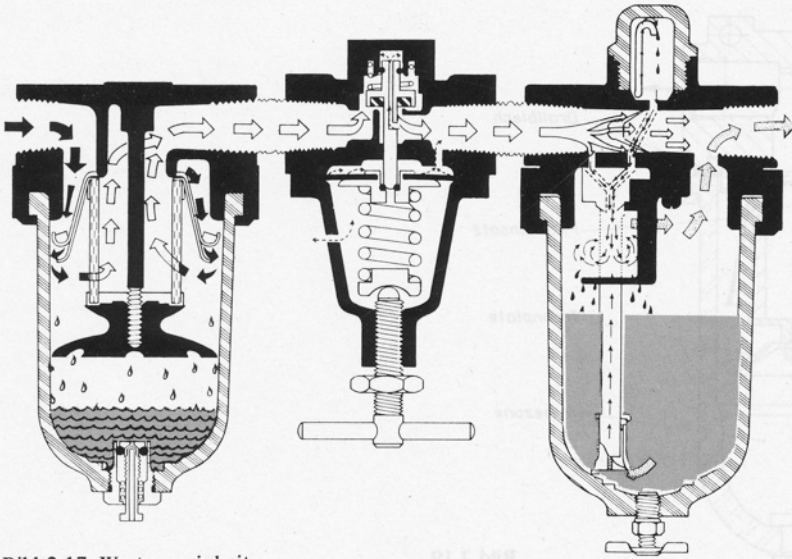


Bild 2.17 Wartungseinheit

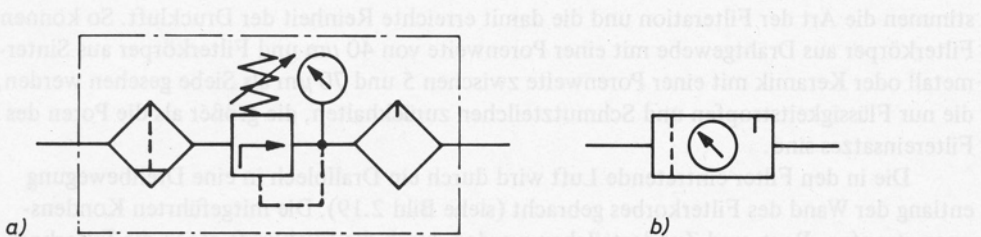


Bild 2.18 Sinnbild für Wartungseinheit

a) Ausführliche Darstellung (Das strichpunktiert umgrenzte Feld bezeichnet mehrere zu einem Block oder einer Baugruppe vereinigte Geräte), b) Vereinfachte Darstellung

2.7.2 Druckluftfilter

Druckluftfilter haben die Aufgabe die in der Druckluft mitgeführten festen und flüssigen Verunreinigungen zu entfernen. Entsprechend der Arbeitsweise unterscheidet man Wirbel- oder Zyklonfilter und Filter mit porösen Filtereinsätzen aus Drahtgewebe, imprägniertem Papier, Sintermetall, Keramik oder synthetischen Stoffen.

Da mit Wirbel- oder Zyklonfilter nur grobe Verunreinigungen ausgeschieden werden können, eignen sich diese Filter nur als Vorfilter, und sie werden mit porösen Filtereinsätzen zu einer Einheit kombiniert (Bild 2.19). Aufbau und Feinheit der Filtereinsätze be-

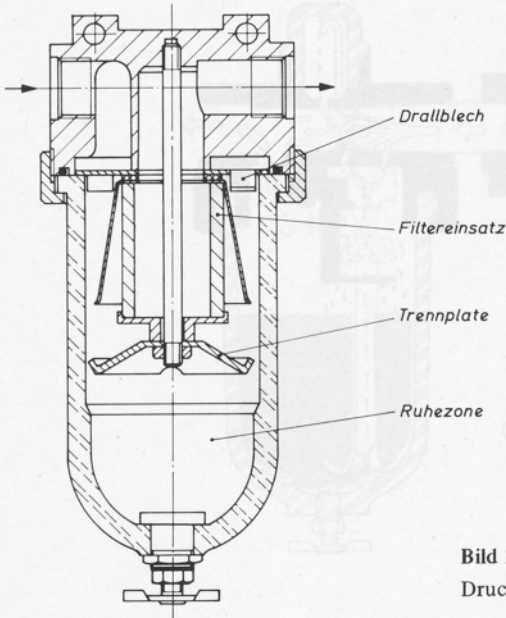


Bild 2.19
Druckluftfilter (EWO)

stimmen die Art der Filtration und die damit erreichte Reinheit der Druckluft. So können Filterkörper aus Drahtgewebe mit einer Porenweite von $40\ \mu\text{m}$ und Filterkörper aus Sintermetall oder Keramik mit einer Porenweite zwischen 5 und $70\ \mu\text{m}$ als Siebe gesehen werden, die nur Flüssigkeitstropfen und Schmutzteilchen zurückhalten, die größer als die Poren des Filtereinsatzes sind.

Die in den Filter eintretende Luft wird durch ein Drallblech in eine Drehbewegung entlang der Wand des Filterkorbes gebracht (siehe Bild 2.19). Die mitgeführten Kondenswassertropfen, Rost- und Zunderteilchen werden durch die Fliehkraft gegen die Filterkorbwand geschleudert und sammeln sich unter der Trennplatte in der Ruhezone des Filterkorbes. Bevor die Druckluft den Filter verläßt, muß sie durch einen Filtereinsatz strömen, von dem die feinen, noch in der Luft schwebenden Teilchen zurückgehalten werden. In den meisten Fällen ist eine Porenweite von 20 bis $40\ \mu\text{m}$ ausreichend.

Bei der Auswahl des Druckluftfilters ist auf richtige Dimensionierung zu achten. Werden die Abmessungen zu klein gewählt, ist die ausreichende Versorgung der Anlage nicht gewährleistet. Überdimensionierung verursacht eine unzureichende Auswirbelung der Verunreinigungen und daher ein rasches Verschmutzen des Filtereinsatzes. Wird die Filterfläche durch zunehmende Verschmutzung immer kleiner, verschlechtert sich der Wirkungsgrad durch den steigenden Druckabfall. Filterpatronen sind daher in regelmäßigen Abständen zu reinigen. Bei der Wahl des Filters und bei seiner Montage ist daher darauf zu achten, daß die Filterpatrone leicht gewechselt werden kann.

Das in der Ruhezone angefallene Kondensat muß rechtzeitig abgelassen werden, d.h. es darf die Trennplatte nicht übersteigen. Druckluftfilter mit automatischer Entwässerung (Bild 2.20) befreien das Aufsichtspersonal weitgehend von der Überwachung der Filter.

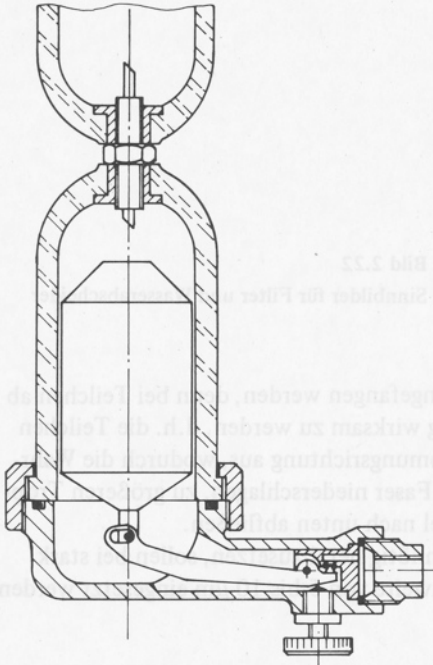


Bild 2.20

Automatischer Kondensatableiter (Bosch)

Die Entleerung des Kondensates erfolgt hier selbständig, durch Schwimmer oder Membrane gesteuert. Die Filterpatronen müssen jedoch auch bei diesen Filtern von Hand gereinigt werden.

In den meisten Fällen reicht die Reinigung der Druckluft mit den oben beschriebenen Geräten aus. Werden an die Reinheit der Druckluft jedoch höhere Anforderungen gestellt, so sind Filtereinsätze aus Borsilikat-Glas-Fasern einzusetzen, die eine 99,9 %ige Abscheidung der in der Druckluft mitgeführten Verunreinigungen ermöglichen.

Diese Filtereinsätze werden von innen nach außen durchströmt (Bild 2.21), wobei im Bereich des Mikrofasergewebes, einem Wirrvlies aus durchschnittlich $0,5 \mu\text{m}$ dicken

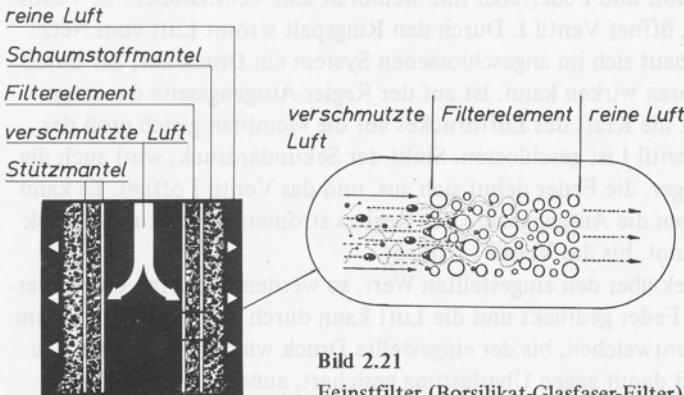


Bild 2.21

Feinstfilter (Borsilikat-Glasfaser-Filter) (Ultrafilter)

Sinnbild für Filter

Sinnbild für Wasserabscheider
(handbetätigt)Sinnbild für Wasserabscheider
(mit automatischer Entleerung)Sinnbild für Filter mit Wasserabscheider
(handbetätigt)Sinnbild für Filter mit Wasserabscheider
(mit automatischer Entleerung)

Bild 2.22

Sinnbilder für Filter und Wasserabscheider

Fasern, auch die kleinsten Flüssigkeitströpfchen eingefangen werden, denn bei Teilchen ab $0,3 \mu\text{m}$ beginnt die Brownsche Molekularbewegung wirksam zu werden, d.h. die Teilchen führen eine unregelmäßige Bewegung quer zur Strömungsrichtung aus, wodurch die Wahrscheinlichkeit sehr groß wird, daß sie sich an einer Faser niederschlagen, zu größeren Tropfen zusammenschließen und im Schaumstoffmantel nach unten abfließen.

Um die Standzeit des Filtereinsatzes nicht unnötig herabzusetzen, sollen bei stark verunreinigter Druckluft, Vorfilter mit einer Porenweite von 5 bis $10 \mu\text{m}$ eingesetzt werden.

2.7.3 Druckluftregler

Jede Druckluftanlage weist unvermeidliche Druckschwankungen auf, die sich in veränderlichen Drehzahlen bei Druckluftmotoren und veränderlichen Schubkräften bei Druckluftzylindern auswirken. Es ist daher zur Konstanthaltung des Druckes jedem Verbraucher ein Druckluftregler vorzuschalten.

Die Aufgabe des Druckluftreglers ist es, den eingestellten Arbeitsdruck konstant zu halten unabhängig davon, ob der Luftverbrauch oder der Eingangsdruck schwanken.

Wirkungsweise (Bild 2.23)

Das Ventil I verschließt den Netzanschluß (Primärdruck) gegen die Ausgangsseite des Reglers (Sekundärdruck). Wird bei anstehendem Primärdruck durch Rechtsdrehen der Einstellspindel die Feder gespannt und Federteller mit Membran und Ventilstößel mit Ventilteller I nach oben gedrückt, öffnet Ventil I. Durch den Ringspalt strömt Luft vom Netz zum Reglerausgang und es baut sich im angeschlossenen System ein Druck auf, der durch eine Bohrung auf die Membran wirken kann. Ist auf der Regler-Ausgangsseite der eingestellte Druck erreicht, so ist die Kraft des Luftdruckes auf die Membran gleich groß der Kraft der Feder, und das Ventil I ist geschlossen. Sinkt der Sekundärdruck, wird auch die Kraft gegen die Feder geringer, die Feder dehnt sich aus, und das Ventil I öffnet. Es kann Luft vom Netzanschluß gegen die Ausgangsseite des Reglers strömen, der Sekundärdruck steigt, die Feder wird gespannt, bis das Ventil I schließt.

Steigt der Arbeitsdruck über den eingestellten Wert, so werden Membran und Federteller nach unten gegen die Feder gedrückt und die Luft kann durch das Ventil II aus dem Arbeitsdruckraum solange entweichen, bis der eingestellte Druck wieder erreicht ist. Die angeschlossenen Geräte sind damit gegen Überlastung gesichert, außerdem kann der Arbeitsdruck auch dann geregelt werden, wenn auf der Arbeitsdruckseite keine Luft entnommen wird.

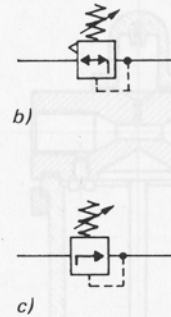
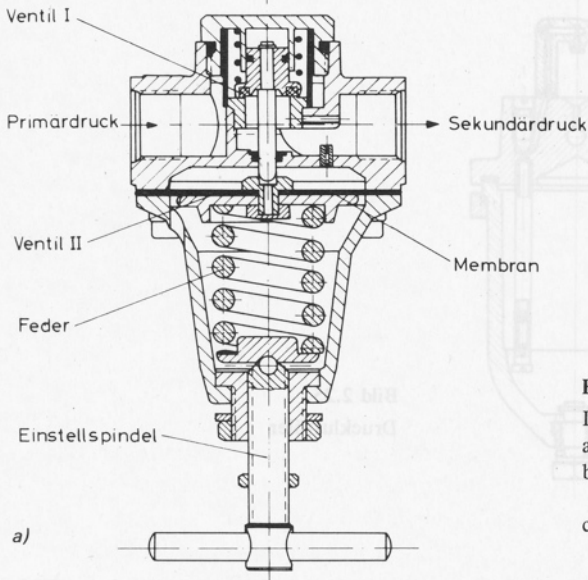


Bild 2.23

Druckluftregler (EWO)

a) Schnittbild

b) Sinnbild für Druckluftregler mit Entlastung

c) Sinnbild für Druckluftregler ohne Entlastung

2.7.4 Druckluftöler

Um die Reibungskräfte und den Verschleiß der beweglichen Teile in den Geräten einer pneumatischen Steuerung gering zu halten und alle im Luftstrom liegenden Teile vor Korrosion zu schützen, ist jeder pneumatischen Anlage ein Druckluftöler vorzuschalten.

Alle Druckluftöler arbeiten nach dem Prinzip des Venturi-Rohres, das heißt, der Druckunterschied Δp zwischen dem Druck vor der Düse und dem Druck an der engsten Stelle der Düse wird dazu benützt, Öl aus einem Behälter zu saugen und der durch die Düse strömenden Luft zuzusetzen (Bild 2.24).

Die Zerstäubung des Öles und die Regelung des Mischungsverhältnisses Öl zu Luft ist von der Bauart des Ölers abhängig.

Bei dem Druckluftöler nach Bild 2.25 wird der Ölgehalt der Luft immer größer, je mehr Luft durch den Öler strömt. Alle Öltröpfchen, unabhängig von ihrer Größe, gelangen aus der Zerstäuberdüse direkt in den Luftstrom. Große Ölteilchen lassen sich schlecht in der Druckluft transportieren, sie fallen bei geringer Luftgeschwindigkeit an Rohrverzwei-

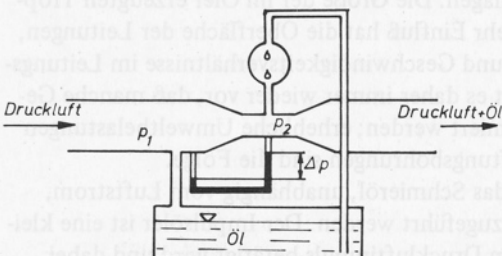


Bild 2.24

Funktionsprinzip eines Druckluftölers

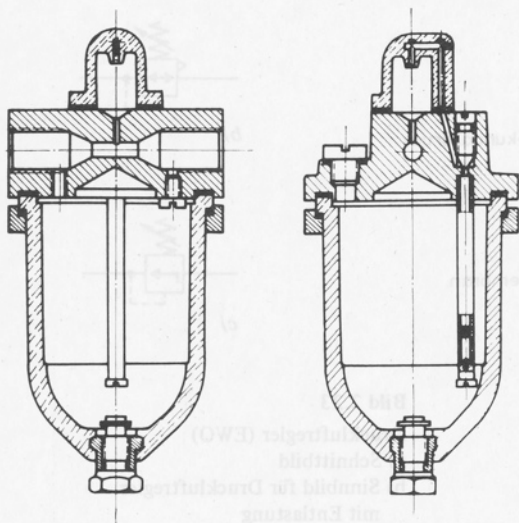


Bild 2.25
Druckluftöler

gungen und Verengungen aus dem Luftstrom aus und erreichen nicht das vorgesehene Ziel. Druckluftöler dieser Bauart eignen sich daher nur für Anlagen mit kurzen Leitungen und konstantem Luftverbrauch.

Der Proportionalöler ist zur Ölversorgung von Anlagen mit schwankendem Luftverbrauch geeignet (Bild 2.26). Ein in den Luftkanal eingebauter Staukegel sorgt für ein gleichbleibendes Mischungsverhältnis Öl zu Luft über einen weiten Bereich der durchströmenden Luftmenge. Das Mischungsverhältnis kann durch eine Drosselschraube im Ölkanal verändert werden. Auch bei diesem Öler gelangen alle Öltröpfchen unabhängig von ihrer Größe in den Luftstrom.

Bei dem in Bild 2.27 dargestellten Mikronebel-Öler wird das Öl in einer Düse sehr fein zerstäubt und nur die kleinsten Ölpartikel werden vom Luftstrom mitgerissen, alle größeren Öltröpfchen bleiben im Ölbehälter zurück. Gleichzeitig wird wie bei den Proportionalölern durch eine Stauklappe, die sich entsprechend dem Luftdurchsatz einstellt, ein gleichmäßiges Mischungsverhältnis Öl zu Luft erreicht.

Alle Ölnebelschmierungen haben ein gemeinsames Problem: Die gleichmäßige Versorgung aller angeschlossenen Geräte ist nicht möglich. Bereits kurz nach dem Druckluftöler wird Öl aus dem Kernölstrom (aus dem in der Luft schwebenden Öl) zu einem Wandölstrom an den Rohrwandungen niedergeschlagen. Die Größe der im Öler erzeugten Tropfen ist dabei von geringer Bedeutung, viel mehr Einfluß hat die Oberfläche der Leitungen, die Art der Leitungsführung und die Druck- und Geschwindigkeitsverhältnisse im Leitungssystem. Besonders in großen Anlagen kommt es daher immer wieder vor, daß manche Geräte trockenlaufen, während andere überschmiert werden; erhebliche Umweltbelastungen durch starken Ölnebelaustritt aus den Entlüftungsbohrungen sind die Folge.

Mit Impuls- oder Einspritzölern kann das Schmieröl, unabhängig vom Luftstrom, den Verbrauchern gezielt und genau dosiert zugeführt werden. Der Impulsöler ist eine kleine Kolbenpumpe (Bild 2.28), die durch einen Druckluftimpuls betätigt wird und dabei

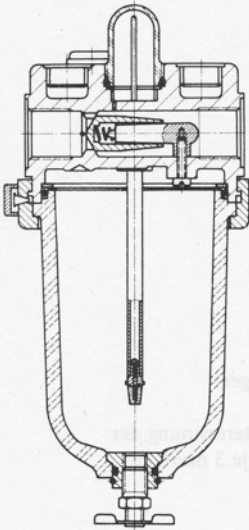


Bild 2.26 Proportionalöler
(Hoerbiger)

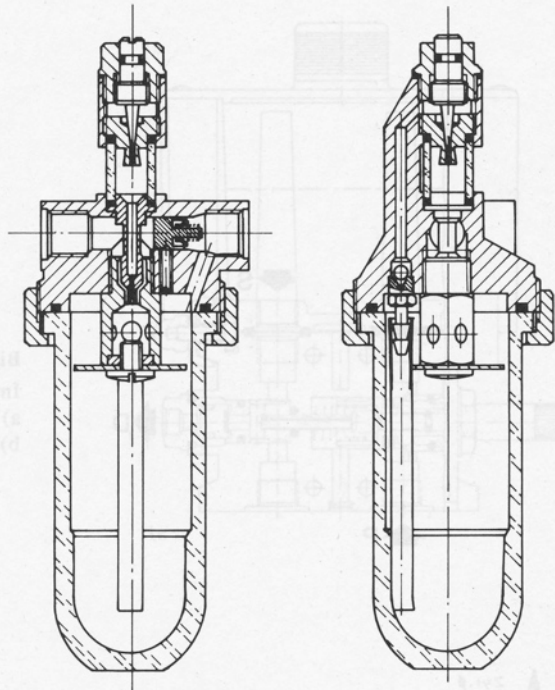


Bild 2.27 Mikronebelöler (EWO)

eine Ölmenge abgibt, die in einer Leitung bis kurz vor den Verbraucher transportiert, und dort über ein Einspritzelement der Druckluft zugesetzt wird. Die Ölmenge ist am Impulsöler stufenlos zwischen 3 und 30 mm³ je Schaltvorgang einstellbar. Die Luftimpulse für die Betätigung des Impulsölers sind aus der Steuerung der Anlage so abzugreifen, daß sich für die Ölversorgung des Antriebsgliedes die aus der Tabelle 2.2 zu ermittelnden Werte ergeben.

2.8 Steuerelemente

2.8.1 Allgemeines

Zur Realisierung von Steuerungen können verschiedene Gerätesysteme eingesetzt werden:

Problemlos können Steuerungen aus Wege-, Sperr-, Druck- und Stromventilen aufgebaut werden. Steuerungen aus diesen Geräten sind unempfindlich gegen Druckschwankungen, unterschiedliche Leitungslängen und es können bedenkenlos Ventile verschiedener Hersteller in einer Steuerung verwendet werden. Die binären Schaltfunktionen: Und, Oder, Nicht, Speicher, Zeit; können mit diesen Geräten realisiert werden. Steuerungen mit großem Informationsgehalt benötigen jedoch viel Platz und sind wegen der relativ hohen Gerätekosten nicht wirtschaftlich.

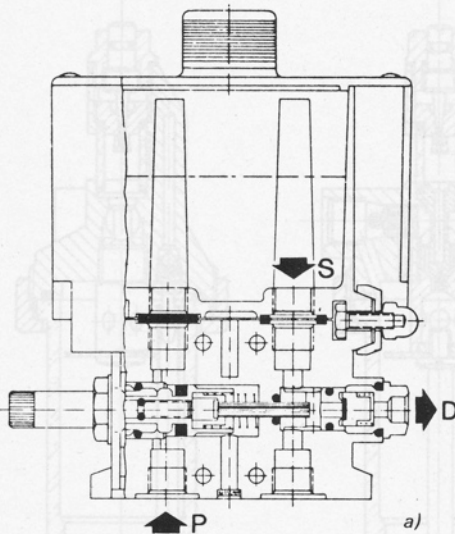


Bild 2.28

Impulsöler (Hoerbiger)

a) Schnittbild

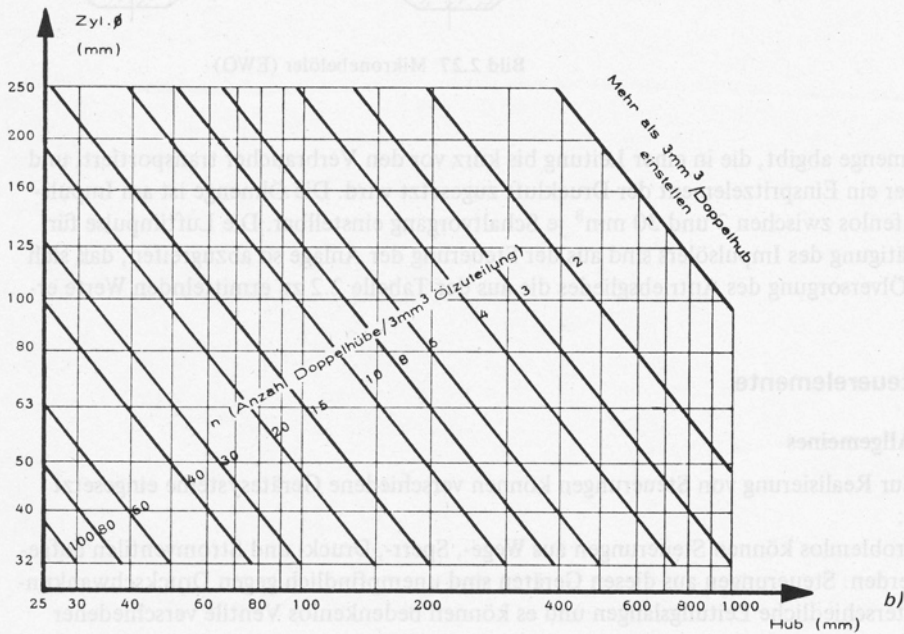
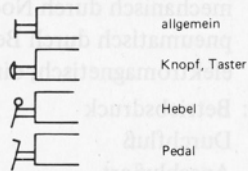
b) Diagramm zur Berechnung der Doppelhubzahl je 3 mm^3 Öl

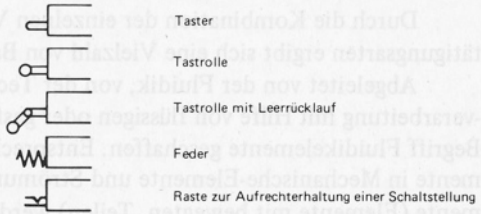
Tabelle 2.2

Sinnbilder der Betätigungselemente

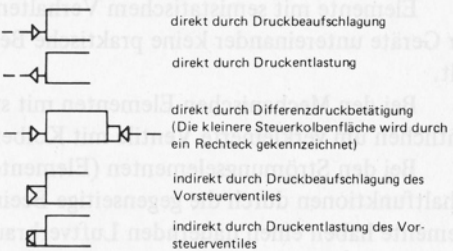
Betätigung durch Muskelkraft



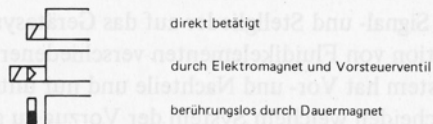
Betätigung durch Maschinenteile (Kurven, Nocken, Lineale, Anschläge)



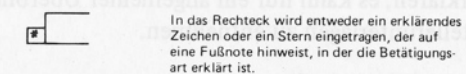
Betätigung durch Druckluft



Betätigung durch Elektromagnet



Weitere Betätigungsarten



Die Benennung Ventil gilt übergeordnet für alle Bauarten wie Schieber, Kugelventil, Tellerventil, Hähne usw.

Ventile können nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt werden:

Nach der Funktion: Wegeventile
Sperrventile
Druckventile
Stromventile

Nach der Betätigung: mechanisch durch Muskelkraft
 mechanisch durch Nocken oder Kurven
 pneumatisch durch Belüftung oder Entlüftung
 elektromagnetisch, direkt- oder vorgesteuert

Nach der Kenngröße: Betriebsdruck
 Durchfluß
 Anschlußart
 Betätigungskraft

Durch die Kombination der einzelnen Ventilfunktionen mit den verschiedenen Betätigungsarten ergibt sich eine Vielzahl von Bauformen.

Abgeleitet von der Fluidik, von der Technik, die sich mit der Signalerfassung und -verarbeitung mit Hilfe von flüssigen oder gasförmigen Medien (Fluiden) befaßt, wurde der Begriff Fluidikelemente geschaffen. Entsprechend ihrer Arbeitsweise werden Fluidikelemente in Mechanische-Elemente und Strömungselemente eingeteilt. Die Mechanischen-Elemente (Elemente mit bewegten Teilen) werden nach ihrer Arbeitsweise eingeteilt in Elemente mit statischem und semistatischem Verhalten.

Elemente mit semistatischem Verhalten haben wegen der schwierigen Abstimmung der Geräte untereinander keine praktische Bedeutung und sind im folgenden nicht behandelt.

Bei den Mechanischen-Elementen mit statischem Verhalten handelt es sich im wesentlichen um verkleinerte Ventile mit Kolben, Tellern, Kugeln und Membranen.

Bei den Strömungselementen (Elemente ohne bewegte Teile) werden die binären Schaltfunktionen durch die gegenseitige Beeinflussung von Luftstrahlen realisiert. Diese Elemente haben einen dauernden Luftverbrauch, arbeiten aber verschleißfrei, da sie keine bewegten Teile haben.

Wird der informatiorische Teil einer Steuerung aus Fluidikelementen aufgebaut, so sind Signal- und Stellglieder auf das Gerätesystem der Steuerglieder abzustimmen. Die Kombination von Fluidikelementen verschiedener Systeme ist nur bedingt möglich. Jedes Gerätesystem hat Vor- und Nachteile und nur unter Berücksichtigung des Einsatzfalles kann man entscheiden welchem System der Vorzug zu geben ist.

Im Rahmen dieses Buches ist es nicht möglich, die einzelnen Systeme erschöpfend zu erklären, es kann nur ein allgemeiner Überblick gegeben werden. Einzelheiten sind den Herstellerunterlagen zu entnehmen.

2.8.2 Wegeventile

2.8.2.1 Erklärung der Sinnbilder

Wegeventile steuern den Energiefluß, sie öffnen oder sperren dem Arbeitsmedium den Weg zum Verbraucher oder ändern die Durchflußrichtung.

Die Funktion eines Ventiles ist aus einer Schnittzeichnung zu ersehen. Die Erstellung einer solchen Zeichnung erfordert jedoch viel Zeit und ist daher für die Schaltplangestaltung nicht geeignet. Unabhängig von der Bauform des Ventiles (Sitzventil, Schieberventil, Hahn usw.), sind in ISO 1219 Sinnbilder für die Ventilfunktionen festgelegt.

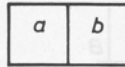
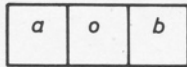


Bild 2.29

Bezeichnung der Schaltstellungen

Die Schaltstellungen werden durch nebeneinander liegende Felder dargestellt und mit den kleinen Buchstaben o, a, b, c ... bezeichnet (Bild 2.29).

Als Ruhe-Stellung wird die Schaltstellung bezeichnet, welche bedingt durch die eingebaute Rückstellfelder oder Druckkraft eingenommen wird, wenn das Ventil von außen nicht betätigt ist. Bei Ventilen mit 3 und mehr Schaltstellungen wird die Ruhe-Stellung (Zentrierstellung) mit 0 bezeichnet, sie ist immer das Mittelfeld. Bei Ventilen mit 2 Schaltstellungen wird die Ruhe-Stellung nicht besonders gekennzeichnet, sie wird mit a oder b bezeichnet. In waagerechter Darstellung ist die Reihenfolge der Schaltstellungen a, b, c ... grundsätzlich entsprechend dem Alphabet von links nach rechts. Diese Ventile schalten nach Wegnehmen der Betätigungskraft immer in die Ruhe-Stellung.

Bei Ventilen ohne Ruhe-Stellung bleibt nach dem Wegnehmen der Betätigungskraft die augenblickliche Schaltstellung a oder b erhalten.

Als Ausgangs-Stellung wird die Schaltstellung bezeichnet, die die beweglichen Teile des Ventiles nach Einbau des Ventiles in eine Anlage und Einschalten des Netzdruckes, sowie gegebenenfalls der elektrischen Spannung einnehmen und mit der das vorgesehene Schaltprogramm beginnt.

Die Anschlüsse (Zu- und Ableitungen) werden an das Feld Ausgangs-Stellung herangezogen. Entlüftungen (Auslässe) ohne Rohranschluß werden durch ein Dreieck am Sinnbild gekennzeichnet.

Entlüftungen mit Rohranschluß werden durch ein vom Sinnbild abgerücktes Dreieck gekennzeichnet (Bild 2.30).

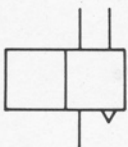
Die Anschlüsse werden mit Großbuchstaben bezeichnet:

Druckanschluß P
Arbeitsanschlüsse A, B
Entlüftungen R, S
Steueranschlüsse X, Y

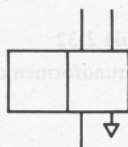
Innerhalb der Felder geben Linien die Leitungen und Pfeile die Durchflußrichtungen an. Absperrungen werden durch Querstriche gekennzeichnet (Bild 2.31).

Die Lage der Linien (gerade oder schräg) und Absperrungen in den Feldern entsprechen der Lage der Anschlüsse.

Eine andere Schaltstellung erreicht man dadurch, daß man die Felder verschiebt, bis sich die Leitungen innerhalb des jetzt vor den Anschlüssen stehenden Feldes wieder mit den Anschlüssen deckt.



a)



b)

Bild 2.30

Anschlüsse am Sinnbild

- a) Entlüftung ohne Rohranschluß
- b) Entlüftung mit Rohranschluß

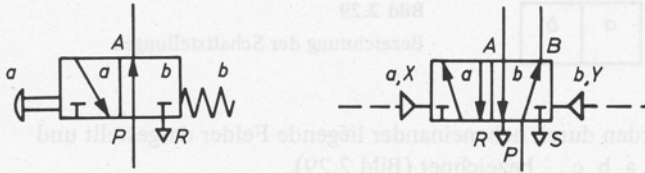


Bild 2.31 Bezeichnungen der Schaltstellungen und Anschlüsse am Wegeventil

a) 3/2-Wegeventil mit Ruhestellung, b) 5/2-Wegeventil ohne Ruhestellung

Die Sinnbilder der Betätigungselemente werden rechtwinkelig zu den Anschlüssen den Feldern (Schaltstellungen) zugeordnet, die sie schalten, und mit den gleichen kleinen Buchstaben wie die zugehörigen Schaltstellungen bezeichnet. In Tabelle 2.2 sind die Sinnbilder der zur Verfügung stehenden Betätigungselemente dargestellt.

Je nach Anzahl der gesteuerten Anschlüsse unterscheidet man Zwei-, Drei-, Vier- und Fünf-Wegeventile. Die Bezeichnung eines Ventiles ist abhängig von der Zahl der gesteuerten Anschlüsse und der Zahl der Schaltstellungen. Die Bezeichnung 4/2-Wegeventil (sprich Vier Strich Zwei Wegeventil) sagt aus, daß dieses Ventil 4 gesteuerte Anschlüsse und 2 Schaltstellungen hat. Entsprechend dieser Bezeichnung unterscheidet man die in Bild 2.32 dargestellten Wegeventile.

Da die Sinnbilder nur über die Funktion eines Ventiles und nicht über die Bauform Auskunft geben, kann die Lage der Anschlüsse am Sinnbild nicht mit der Lage am Ventil verglichen werden.

Um die Erstellung des Geräteplanes, unter Zugrundelegung des Signalflußplanes, zu erleichtern, sind in den nächsten Abschnitten neben den Sinnbildern nach ISO 1219 auch die Schaltzeichen für die digitale Informationsverarbeitung nach DIN 40700 dargestellt (Erklärung der Sinnbilder nach DIN 40700 siehe Abschnitt 3.6).

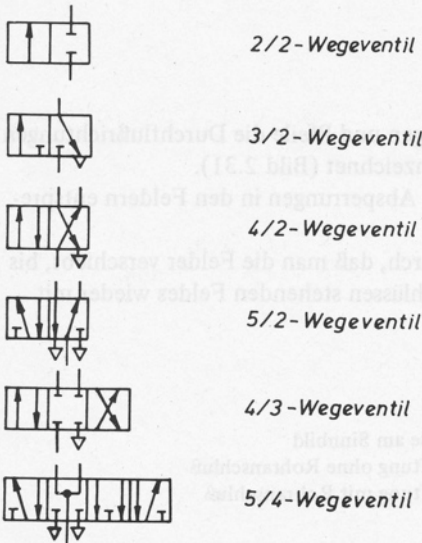


Bild 2.32

Grundformen der Wegeventile

2.8.2.2 Sinnbilder der Wegeventile mit Ruhe-Stellung

• Allgemeines

Ist dem rechten Feld des Sinnbildes eine Feder als Betätigungselement zugeordnet, hat das Ventil eine Ruhe-Stellung; das heißt, wenn auf das Ventil von außen keine Betätigungskraft einwirkt, ist das rechte Feld an den Zu- und Ableitungen.

Als Ruhe-Stellung wird grundsätzlich das rechte Feld gewählt, die Betätigungselemente (Taster, Hebel, pneumatische oder elektrische Betätigungselemente) werden immer dem linken Feld zugeordnet. Die Schaltung a bleibt bei diesen Ventilen nur solange erhalten, solange Kraft auf das Betätigungselement einwirkt.

• Durch Muskelkraft oder Maschinenteile betätigte Ventile

a) 2/2-Wegeventil mit Ruhe-Stellung

Das Ventil nach Bild 2.33a hat 2 gesteuerte Anschlüsse P und A und 2 Schaltstellungen a und b, dargestellt durch 2 rechteckige Felder.

Schaltstellung b (Ruhe-Stellung) P gesperrt A gesperrt

Schaltstellung a P mit A verbunden

Da in der Ruhe-Stellung der Druckanschluß P gesperrt ist, wird das Ventil 2/2-Wegeventil mit Sperr-Ruhe-Stellung bezeichnet.



Bild 2.33 2/2-Wegeventil

a) Mit Sperr-Ruhe-Stellung, betätigt durch Taster, Rückstellung durch Feder, b) Mit Durchfluß-Ruhe-Stellung, betätigt durch Taster, Rückstellung durch Feder

b) 2/2-Wegeventil mit Durchfluß-Ruhe-Stellung

Das Ventil nach Bild 2.33b hat 2 gesteuerte Anschlüsse P und A und 2 Schaltstellungen a und b.

Schaltstellung b (Ruhe-Stellung) P mit A verbunden

Schaltstellung a P gesperrt A gesperrt

In der Ruhe-Stellung sind die Anschlüsse P und A verbunden, die Druckluft hat freien Durchgang, das Ventil wird daher 2/2-Wegeventil mit Durchfluß-Ruhe-Stellung bezeichnet.

c) 3/2-Wegeventil mit Sperr-Ruhe-Stellung

Das Ventil nach Bild 2.34a hat 3 gesteuerte Anschlüsse P, A und R und 2 Schaltstellungen a und b.

Schaltstellung b (Ruhe-Stellung) P gesperrt, A nach R entlüftet

Schaltstellung a P mit A verbunden, R gesperrt

In der Ruhe-Stellung ist der Druckanschluß P gesperrt, das Ventil wird daher 3/2-Wegeventil mit Sperr-Ruhe-Stellung bezeichnet.

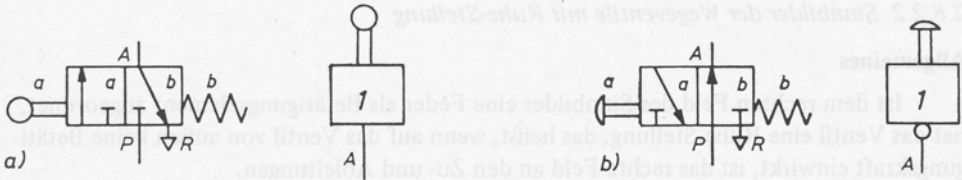


Bild 2.34 3/2 Wegeventil

a) Mit Sperr-Ruhe-Stellung, betätigt durch Tastrolle, Rückstellung durch Feder, b) Mit Durchfluß-Ruhe-Stellung, betätigt mit Handtaster, Rückstellung durch Feder

d) 3/2-Wegeventil mit Durchfluß-Ruhe-Stellung

Das Ventil nach Bild 2.34b hat 3 gesteuerte Anschlüsse P, A und R und 2 Schaltstellungen a und b.

Schaltstellung b (Ruhe-Stellung) P mit A verbunden, R gesperrt

Schaltstellung a P gesperrt, A nach R entlüftet

Da in der Ruhe-Stellung die Anschlüsse P und A verbunden sind und die Druckluft freien Durchgang hat, wird das Ventil 3/2-Wegeventil mit Durchfluß-Ruhe-Stellung bezeichnet.

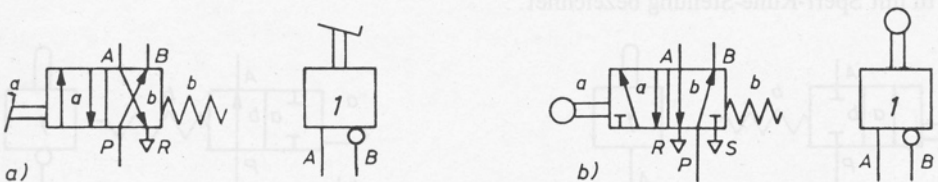


Bild 2.35 a) 4/2-Wegeventil, betätigt durch Pedal, Rückstellung durch Feder, b) 5/2-Wegeventil, betätigt durch Tastrolle, Rückstellung durch Feder

e) 4/2-Wegeventil

Das Ventil nach Bild 2.35a hat 4 gesteuerte Anschlüsse P, A, B und R und 2 Schaltstellungen a und b.

Schaltstellung b (Ruhe-Stellung) P mit B verbunden

A nach R entlüftet

Schaltstellung a P mit a verbunden

B nach R entlüftet

f) 5/2-Wegeventil

Das Ventil nach Bild 2.35b hat 5 gesteuerte Anschlüsse P, A, B, R und S und 2 Schaltstellungen a und b.

Schaltstellung b (Ruhe-Stellung) P mit B verbunden

A nach R entlüftet

S gesperrt

Schaltstellung a P mit A verbunden

B nach S entlüftet

R gesperrt

- **Pneumatisch betätigte Ventile**

- a) **Pneumatisch betätigte Ventile mit Rückstellfeder**

Pneumatisch betätigte Ventile werden als 3/2-, 4/2- und als 5/2-Wegeventile hergestellt (Bild 2.36).

Betätigt werden diese Ventile durch einen in das Ventil eingebauten Druckluftkolben, der durch ein Dreieck dargestellt wird, dessen Spitze zum Sinnbild zeigt. Der Anschluß für die Steuerleitung ist mit X bezeichnet. Die Rückstellung des Ventiles in die Ruhe-Stellung erfolgt durch eine in das Ventil eingebaute Spiralfeder.

- b) **Pneumatisch betätigte Ventile mit Differenzkolbenbetätigung**

Diese Ventile unterscheiden sich von den unter a) beschriebenen Ventile dadurch, daß sie an Stelle der Rückstellfeder einen kleinen Steuerkolben haben, der durch eine Steuerleitung im Ventil dauernd vom Druckluftnetz beaufschlagt wird und das Ventil dadurch in der Ruhe-Stellung hält. Wird der Anschluß X und damit der große Steuerkolben mit Druckluft beaufschlagt, wird der kleinere Steuerkolben (gekennzeichnet durch das Rechteck, welches der Schaltstellung b zugeordnet ist) überdrückt und das Ventil in Schaltstellung a gebracht. Nach dem Entlüften des Anschlusses X werden die beweglichen Teile des Ventiles durch den dauernd beaufschlagten kleinen Steuerkolben in die Ruhe-Stellung gebracht (Bild 2.37).

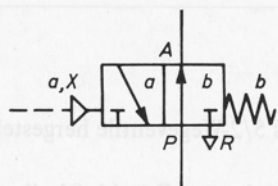
- c) **Pneumatisch betätigte Ventile mit verzögertem Einschaltzeitpunkt**

Pneumatisch betätigte Ventile mit verzögertem Einschaltzeitpunkt sind die Kombination eines pneumatisch betätigten Wegeventiles mit einem Drosselrückschlagventil (Drosselrückschlagventil siehe Abschnitt 2.8.4.3). Diese Ventile werden als fest zusammengebaute Geräte hergestellt, können aber auch durch Kombination eines pneumatisch betätigten 2/3-Wegeventiles mit einem Drosselrückschlagventil hergestellt werden. Zwischen Drosselrückschlagventil und Anschluß X des 3/2-Wegeventiles ist ein Speicher mit ca. 15 cm³ Inhalt vorzusehen. Dieses Speichervolumen hat sich in der Praxis als günstig erwiesen, es ist in Verbindung mit Drosselrückschlagventilen normaler Qualität bis zu Verzögerungen von 10 Sekunden bei einer Genauigkeit von 10 % ausreichend. In der Praxis lassen sich diese Speicher einfach durch 1 Meter Rohr oder Schlauch herstellen, die zu einer Spirale gewickelt werden.

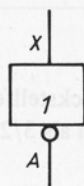
Durch das Drosselrückschlagventil kann entsprechend der eingestellten Drosselöffnung mehr oder weniger Druckluft in den Speicher strömen. Entsprechend der einströmenden Luftmenge baut sich der zum Schalten des 3/2-Wegeventiles notwendige Druck langsamer oder schneller auf. Der Einschaltzeitpunkt wird also je nach Einstellung des Drosselrückschlagventiles verzögert. Nach dem Wegnehmen des Steuerdruckes wird der Steuerkolben sofort durch das Rückschlagventil entlüftet und das 3/2-Wegeventil wird durch die Rückstellfeder in die Ruhe-Stellung gebracht. In Bild 2.38 sind die Sinnbilder und der Funktionsablauf dieser Ventile dargestellt.

- d) **Pneumatisch betätigte Ventile mit verzögertem Ausschaltzeitpunkt**

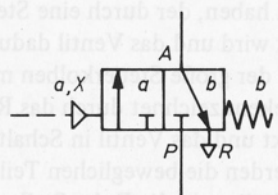
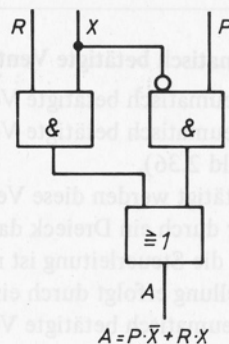
Die pneumatisch betätigten Ventile mit verzögertem Ausschaltzeitpunkt unterscheiden sich von den unter c) beschriebenen Ventilen nur dadurch, daß der Anschluß A des Drosselrückschlagventiles mit dem Anschluß X des 3/2-Wegeventiles verbunden ist. Die Steuerluft kann das Drosselrückschlagventil ohne Widerstand durchströmen, d.h. das 3/2-Wegeventil wird sofort von Schaltstellung b nach Schaltstellung a gebracht. Nach



a)



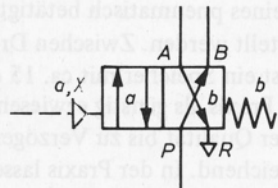
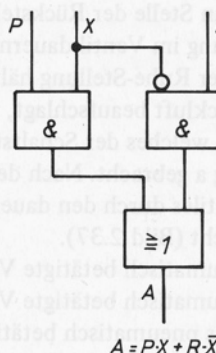
$$A = \bar{X}$$



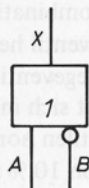
b)



$$A = X$$

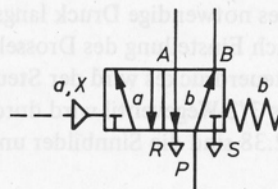
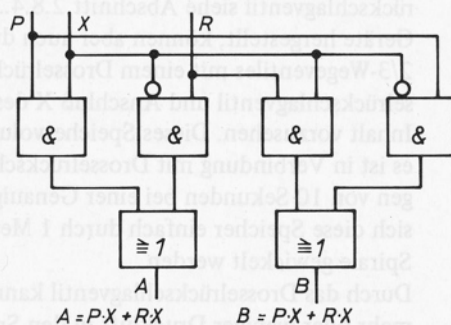


c)

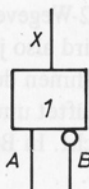


$$A = X$$

$$B = \bar{X}$$



d)



$$A = X$$

$$B = \bar{X}$$

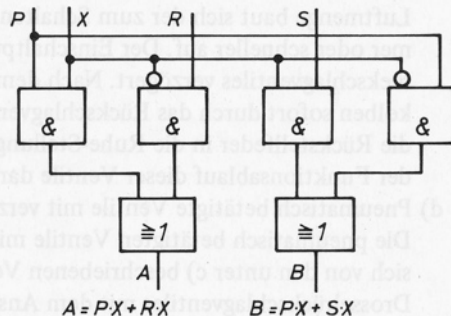


Bild 2.36 Pneumatisch betätigte Ventile mit Ruhe-Stellung, Rückstellung durch Feder

a) 3/2-Wegeventil mit Durchfluß-Ruhe-Stellung

b) 3/2-Wegeventil mit Sperr-Ruhe-Stellung

c) 4/2-Wegeventil

d) 5/2-Wegeventil

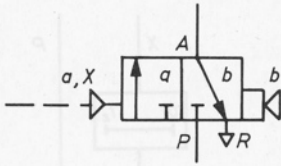


Bild 2.37

Pneumatisch durch Differenzkolben betätigtes 3/2-Wegeventil mit Sperr-Ruhe-Stellung

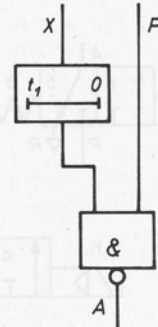
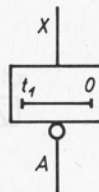
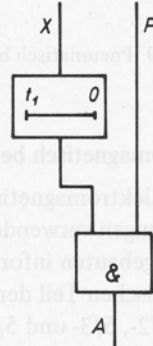
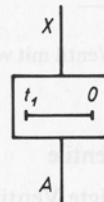
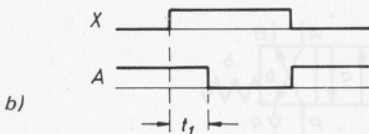
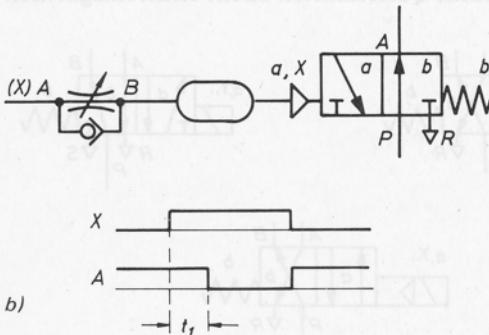
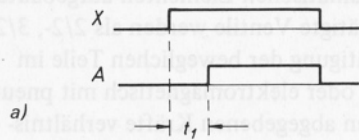
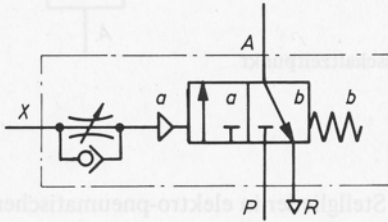


Bild 2.38 Pneumatisch betätigtes Ventil mit verzögertem Einschaltzeitpunkt

a) Fest zusammengebautes Gerät, b) Aus einzelnen Ventilen zusammengebautes Gerät

dem Wegnehmen des Steuerdruckes kann durch das Drosselrückschlagventil entsprechend der eingestellten Drosselöffnung, mehr oder weniger Druckluft aus dem Speicher entweichen. Entsprechend der ausströmenden Luftmenge baut sich der Druck, der zum Halten der Schaltstellung a am 3/2-Wegeventil notwendig ist, langsamer oder schneller ab. Der Ausschaltzeitpunkt wird also je nach Einstellung des Drosselrückschlagventiles verzögert. In Bild 2.39 sind die Sinnbilder und der Funktionsablauf dieser Ventile dargestellt.

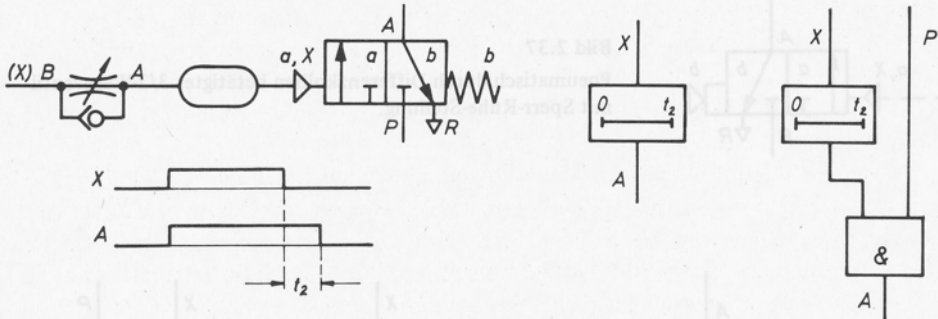


Bild 2.39 Pneumatisch betätigtes Ventil mit verzögertem Ausschaltzeitpunkt

• Elektromagnetisch betätigte Ventile

Elektromagnetisch betätigte Ventile werden als Stellglieder in elektro-pneumatischen Steuerungen verwendet. Sie bilden das Bindeglied zwischen dem aus elektrischen Elementen aufgebauten informatorischen Teil und dem aus pneumatischen Elementen aufgebauten energetischen Teil der Steuerung. Elektromagnetisch betätigte Ventile werden als 2/2-, 3/2-, 4/2-, 5/2-, 5/3- und 5/4-Wegeventile hergestellt. Die Betätigung der beweglichen Teile im Ventil erfolgt entweder direkt durch den Elektromagnet oder elektromagnetisch mit pneumatischer Vorsteuerung. Da die von den Elektromagneten abgegebenen Kräfte verhältnismäßig klein sind, können nur Ventile mit kleinen Querschnitten direkt elektromagnetisch

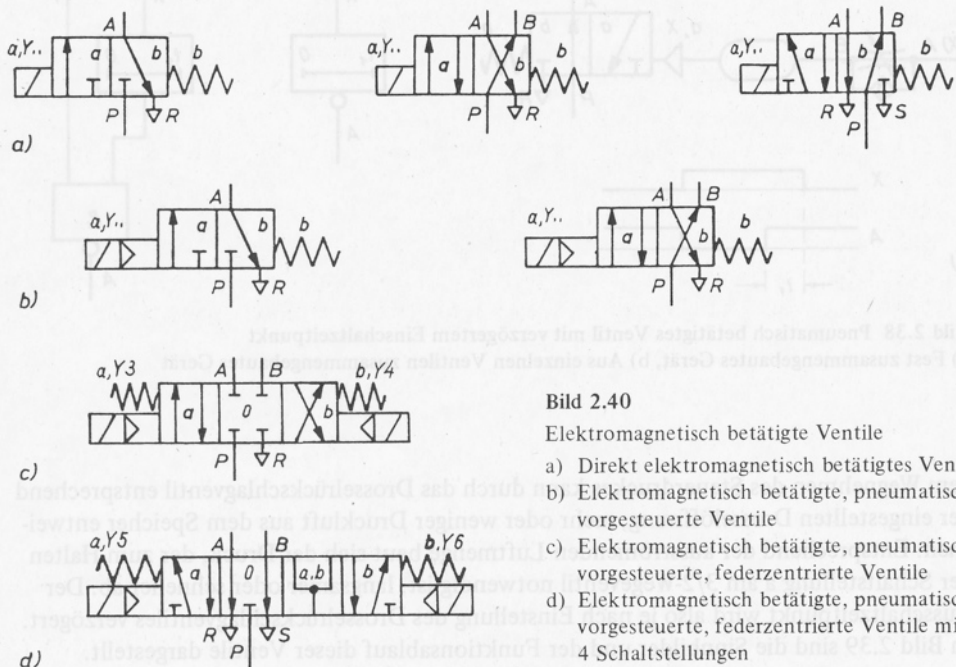


Bild 2.40

Elektromagnetisch betätigte Ventile

- Direkt elektromagnetisch betätigtes Ventil
- Elektromagnetisch betätigte, pneumatisch vorgesteuerte Ventile
- Elektromagnetisch betätigte, pneumatisch vorgesteuerte, federzentrierte Ventile
- Elektromagnetisch betätigte, pneumatisch vorgesteuerte, federzentrierte Ventile mit 4 Schaltstellungen

betätigt werden. Ventile mit großen Querschnitten (große Volumenströme) werden pneumatisch vorgesteuert, d.h. durch den Elektromagnet wird ein kleines Ventil, das Vorsteuer-ventil, betätigt, so daß Druckluft zum Steuerkolben, der das Hauptventil steuert, strömen kann. Elektromagnetisch betätigte Ventile werden mit Rückstellung durch Spiralfeder oder Differenzkolben hergestellt.

Bei den Ventilen nach Bild 2.40c und d werden die Schaltstellungen a und b nur solange aufrecht erhalten, solange die zugehörigen Magnetspulen erregt sind. Nach dem Abschalten der Steuerspannung gehen die Ventile, bedingt durch die eingebauten Federn, in die Ruhe-Stellung. Bei dem in Bild 2.40d dargestellten Ventil wird die Schaltstellung ab durch gleichzeitiges Erregen der Magnetspulen a und b erreicht.

Die Betätigungselemente (Magnetspulen) werden nach DIN 40719 mit Y1, Y2, ... bezeichnet.

2.8.2.3 Sinnbilder der Wegeventile ohne Ruhe-Stellung

• Allgemeines

Bei Wegeventilen ohne Ruhe-Stellung bleibt nach dem Wegnehmen der Betätigungskraft die augenblickliche Schaltstellung erhalten. Die Schaltstellungen werden mit a, b, c bezeichnet.

Die Betätigung dieser Ventile kann erfolgen durch:

Muskelkraft mit Handhebel oder Pedal

Pneumatisch durch Druckbelastung oder Druckentlastung

Elektromagnetisch, direkt gesteuert oder pneumatisch vorgesteuert.

Die pneumatisch und elektromagnetisch gesteuerten Ventile werden, da zur Umsteuerung nur ein Impuls notwendig ist, Impulsventile genannt.

• Durch Muskelkraft betätigte Ventile

a) 3/2-Wegeventil – Handschiebeventil

Das Ventil nach Bild 2.41 hat 3 gesteuerte Anschlüsse P, A und R und 2 Schaltstellungen a und b.

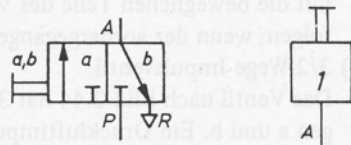
Schaltstellung a P mit A verbunden, R gesperrt

Schaltstellung b P gesperrt, A nach R entlüftet.

Das Umschalten von einer Schaltstellung in die andere kann nur von Hand erfolgen. Diese Ventile eignen sich besonders als Absperrventil (Hauptventil) vor pneumatischen Anlagen.

Bild 2.41

3/2-Wege-Handschiebe-Ventil



b) 3/2-Wege- und 4/2-Wegeventil mit Handhebel- oder Pedalbetätigung

Diese Ventile werden mit Handhebel oder Pedal von einer Schaltstellung in die andere gebracht. Die augenblickliche Schaltstellung bleibt auch nach dem Wegnehmen der Betätigungskraft erhalten. Im Sinnbild (siehe Bild 2.42) wird dies durch die im Betätigungselement a sinnbildlich dargestellte Raste gekennzeichnet.

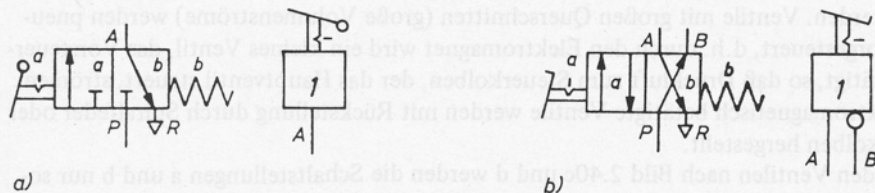


Bild 2.42 a) 3/2-Wegeventil mit Handhebelbetätigung, Schaltstellung a wird durch Raste aufrecht erhalten, b) 4/2-Wegeventil mit Pedalbetätigung, Schaltstellung a wird durch Raste aufrecht erhalten

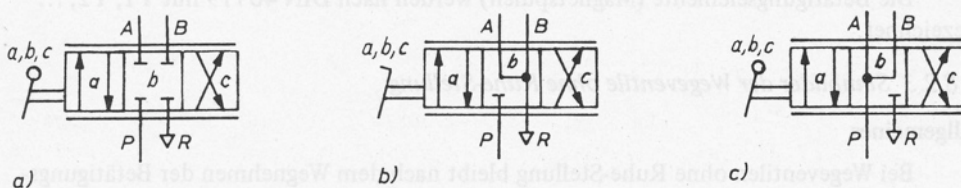


Bild 2.43 4/3-Wegeventile mit Handhebel- oder Pedalbetätigung ohne festgelegte Schaltstellung
a) Ventil mit Sperrstellung, b) Ventil mit Schwimmstellung, c) Ventil mit Doppelanschluß

c) 4/3-Wegeventil mit Handhebel- oder Pedalbetätigung

Die Ventile nach Bild 2.43 haben 4 gesteuerte Anschlüsse P, A, B und R und 3 Schaltstellungen a, b, c. Die Ventile haben keine festgelegten Schaltstellungen, d.h. zwischen den beiden Endstellungen können beliebig viele Zwischenstellungen mit verschiedenen starken Drosselwirkungen eingestellt werden. Die Möglichkeit der Einstellung von Zwischenstellungen wird durch 2 parallele Linien zum Ventilgrundbildzeichen angegeben.

● Pneumatisch durch Druckbeaufschlagung betätigte (Impulsventile)

a) Allgemeines

Die Umsteuerung dieser Ventile erfolgt durch die Beaufschlagung einer Steuerkolben-seite mit Druckluft. Die beweglichen Teile des Ventiles bleiben so lange in der jeweiligen Schaltstellung, bis ein zweiter entgegengesetzter Impuls den Steuerkolben und damit die beweglichen Teile des Ventiles umsteuert. Eine Umsteuerung kann aber nur erfolgen, wenn der vorhergegangene, entgegengesetzte Steuerimpuls gelöscht ist.

b) 3/2-Wege-Impulsventil

Das Ventil nach Bild 2.44 hat 3 gesteuerte Anschlüsse P, A und R und 2 Schaltstellungen a und b. Ein Druckluftimpuls bei Steueranschluß X bewirkt ein Umschalten des Ventiles in Schaltstellung a (P mit A verbunden, R gesperrt). Ein Impuls bei Steueranschluß Y bewirkt ein Umschalten in Schaltstellung b (P gesperrt, A nach R entlüftet).

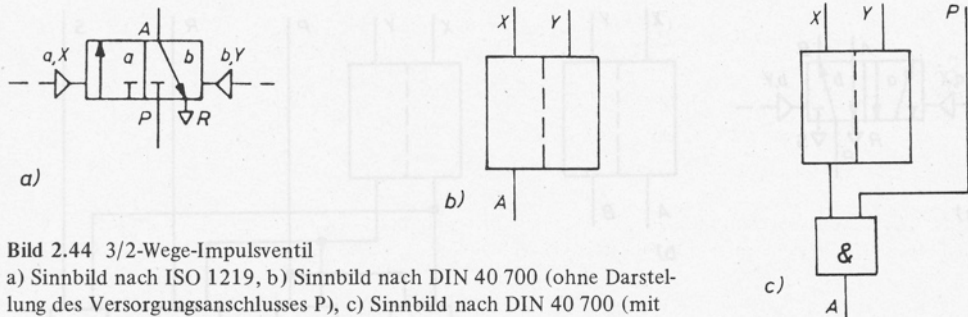


Bild 2.44 3/2-Wege-Impulsventil

a) Sinnbild nach ISO 1219, b) Sinnbild nach DIN 40 700 (ohne Darstellung des Versorgungsanschlusses P), c) Sinnbild nach DIN 40 700 (mit Darstellung des Anschlusses P)

c) 4/2-Wege-Impulsventil

Das Ventil nach Bild 2.45 hat 4 gesteuerte Anschlüsse P , A , B und R , 2 Steueranschlüsse X und Y , und 2 Schaltstellungen a und b . Die Umsteuerung erfolgt wie unter a) und b) beschrieben.

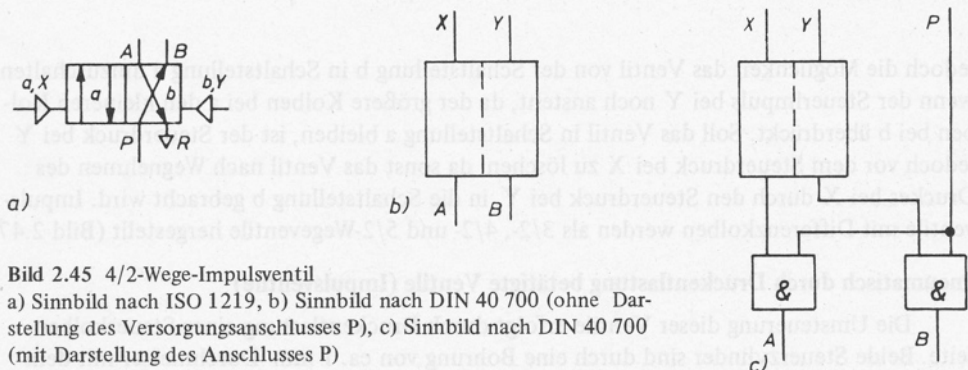


Bild 2.45 4/2-Wege-Impulsventil

a) Sinnbild nach ISO 1219, b) Sinnbild nach DIN 40 700 (ohne Darstellung des Versorgungsanschlusses P), c) Sinnbild nach DIN 40 700 (mit Darstellung des Anschlusses P)

d) 5/2-Wege-Impulsventil

Das Ventil nach Bild 2.46 hat 5 gesteuerte Anschlüsse P , A , B , R und S , 2 Steueranschlüsse X und Y , und 2 Schaltstellungen a und b . Die Umsteuerung erfolgt wie unter a) und b) beschrieben.

• Pneumatisch durch Druckbeaufschlagung mit Differenzkolben betätigte Ventile (Impulsventile)

Der Aufbau dieser Ventile unterscheidet sich von den im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Ventilen dadurch, daß die Durchmesser der Steuerkolben verschieden groß sind. Der kleinere der beiden Steuerkolben wird im Sinnbild durch ein Rechteck gekennzeichnet. (Das Rechteck kann man sich als eine in die Bohrung eingedrückte Büchse vorstellen, die den Steuerzylinder-Durchmesser verkleinert, Bild 2.67.) Das Umsteuern dieser Ventile kann durch wechselweises Belüften der beiden Anschlüsse X und Y erfolgen. Es besteht

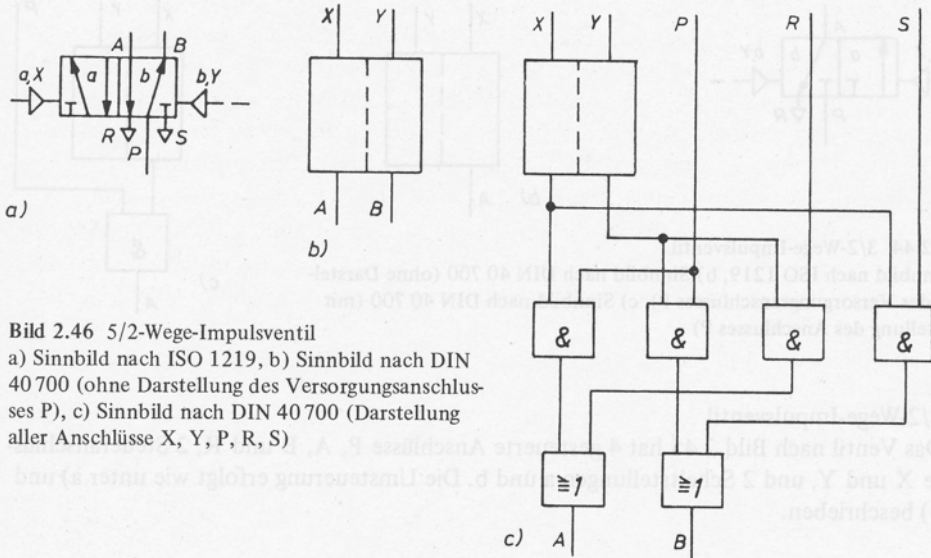


Bild 2.46 5/2-Wege-Impulsventil

a) Sinnbild nach ISO 1219, b) Sinnbild nach DIN 40 700 (ohne Darstellung des Versorgungsanschlusses P), c) Sinnbild nach DIN 40 700 (Darstellung aller Anschlüsse X, Y, P, R, S)

jedoch die Möglichkeit das Ventil von der Schaltstellung b in Schaltstellung a umzuschalten, wenn der Steuerimpuls bei Y noch ansteht, da der größere Kolben bei a den kleineren Kolben bei b überdrückt. Soll das Ventil in Schaltstellung a bleiben, ist der Steuerdruck bei Y jedoch vor dem Steuerdruck bei X zu löschen, da sonst das Ventil nach Wegnehmen des Druckes bei X durch den Steuerdruck bei Y, in die Schaltstellung b gebracht wird. Impulsventile mit Differenzkolben werden als 3/2-, 4/2- und 5/2-Wegeventile hergestellt (Bild 2.47).

• Pneumatisch durch Druckentlastung betätigte Ventile (Impulsventile)

Die Umsteuerung dieser Ventile erfolgt durch Druckentlastung einer Steuerkolben-seite. Beide Steuerzylinder sind durch eine Bohrung von ca. 1 mm Durchmesser mit dem Druckanschluß P verbunden. Ist am Anschluß P Druck vorhanden, sind auch beide Steuerkolben-seiten druckbeaufschlagt und im Gleichgewicht. Wird am Steueranschluß X durch

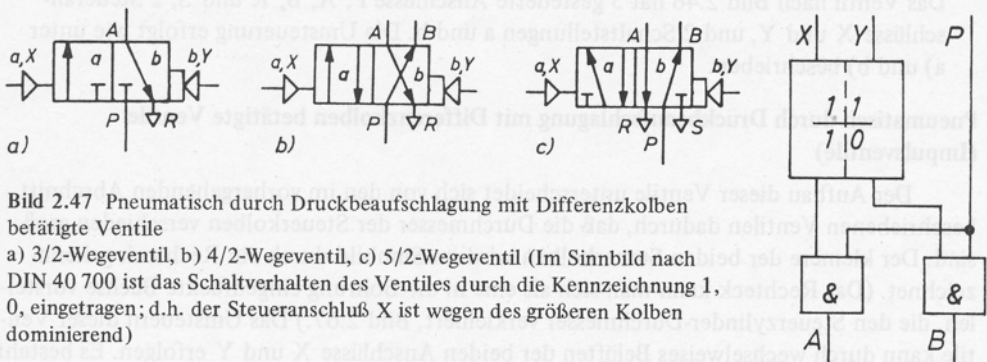


Bild 2.47 Pneumatisch durch Druckbeaufschlagung mit Differenzkolben betätigte Ventile

a) 3/2-Wegeventil, b) 4/2-Wegeventil, c) 5/2-Wegeventil (Im Sinnbild nach DIN 40 700 ist das Schaltverhalten des Ventiles durch die Kennzeichnung 1, 0, eingetragen; d.h. der Steueranschluß X ist wegen des größeren Kolben dominierend)

Entlüftung der Druck abgebaut, so drückt der auf der Gegenseite (bei Y) anstehende Druck den Steuerkolben auf die eben entlüftete Seite. Nach dem Schließen der Entlüftungsbohrung baut sich der Druck auf beiden Kolbenseiten wieder auf, der Steuerkolben bleibt in seiner augenblicklichen Lage, bis durch eine Entlüftung bei Anschluß Y eine erneute Umsteuerung erfolgt. Bei diesen Ventilen ist wie bei den durch Druckbeaufschlagung gesteuerten Ventilen darauf zu achten, daß der vorhergegangene Steuerimpuls gelöscht ist, d.h. beide Signalglieder müssen geschlossen sein, bevor eine Umsteuerung erfolgen kann.

Um einheitliche Anschlußplatten verwenden zu können, sind die Bezeichnungen der Steueranschlüsse X und Y, gegenüber den Ventilen mit Umsteuerung durch Druckbeaufschlagung, vertauscht. Anschluß Y ist der Schaltstellung a und Anschluß X der Schaltstellung b zugeordnet.

Impulsventile mit Umsteuerung durch Druckentlastung werden als 3/2-, 4/2- und 5/2-Wegeventile hergestellt (Bild 2.48).

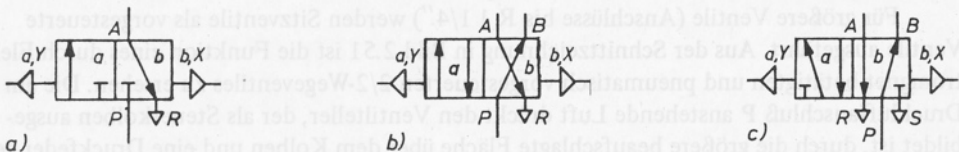


Bild 2.48 Pneumatisch durch Druckentlastung betätigte Ventile

a) 3/2-Wegeventile, b) 4/2-Wegeventil, c) 5/2-Wegeventil

- Elektromagnetisch betätigte Impulsventile

Elektromagnetisch betätigte Impulsventile werden als Stellglieder in elektro-pneumatischen Steuerungen verwendet. Sie bilden das Bindeglied zwischen dem aus elektrischen Elementen aufgebauten informatorischen Teil und dem aus pneumatischen Elementen aufgebauten energetischen Teil der Steuerung. Die Betätigung der beweglichen Teile im Ventil erfolgt elektromagnetisch mit pneumatischer Vorsteuerung, die für Druckbeaufschlagung oder Druckentlastung ausgelegt sein kann. Die durch einen Steuerimpuls eingeleitete Schaltung bleibt solange erhalten, bis durch einen entgegengesetzten Impuls das Ventil umgeschaltet wird.

Elektromagnetisch betätigte Impulsventile werden, wie in Bild 2.49 dargestellt, als 3/2-, 4/2- und 5/2-Wegeventile hergestellt. Die Magnetspulen werden nach DIN 40719 mit Y1, Y2 ... bezeichnet.

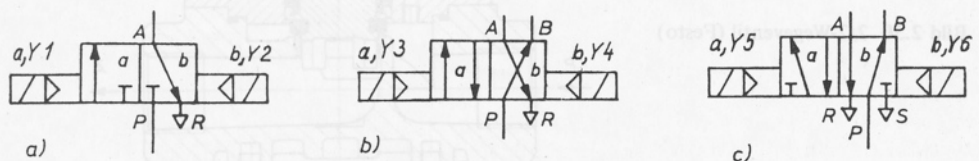


Bild 2.49 Elektromagnetisch betätigte Ventile

a) 3/2-Wegeventil, b) 4/2-Wegeventil, c) 5/2-Wegeventil

2.8.2.4 Bauformen der Wegeventile

- **Sitzventile.** Die Anschlüsse der Sitz- oder Tellerventile werden durch Aufsetzen des Ventiltellers auf den Ventilsitz geschlossen und durch Abheben des Ventiltellers vom Ventilsitz geöffnet oder miteinander verbunden.

Die Betätigungskraft dieser Ventile ist verhältnismäßig hoch, da zusätzlich zu den Haltefedern auch der auf dem Ventilteller lastende Luftdruck überwunden werden muß.

Eine sehr einfache Konstruktion eines Sitzventiles (2/2-Wegeventil mechanisch betätigt durch Taster) ist in Bild 2.50 dargestellt. Dieses Ventil zeichnet sich durch seine kleine Bauweise und den einfachen Aufbau aus. Es eignet sich besonders zur Steuerung von Impulsventilen mit Betätigung durch Druckentlastung.

Durch eine Schraubenfeder wird eine Kunststoffkugel gegen den Ventilsitz gedrückt und verschließt den Druckluftanschluß P gegen die Entlüftung R. Wird der aus dem Ventilkörper ragende Zylinderstift nach unten gedrückt, wird die Kugel von ihrem Sitz abgehoben und der Weg vom Anschluß P zur Entlüftung R ist frei.

Für größere Ventile (Anschlüsse bis R 1 1/4") werden Sitzventile als vorgesteuerte Ventile ausgeführt. Aus der Schnittzeichnung in Bild 2.51 ist die Funktion eines durch Elektromagnet betätigten und pneumatisch vorgesteuerten 2/2-Wegeventiles zu ersehen. Die am Druckluftanschluß P anstehende Luft drückt den Ventilteller, der als Steuerkolben ausgebildet ist, durch die größere beaufschlagte Fläche über dem Kolben und eine Druckfeder gegen den Ventilsitz. Wird der Elektromagnet erregt, schließt das Vorsteuerventil und entlüftet den Raum über dem Steuerkolben. Der auf die Ringfläche des Steuerkolbens wirkende Luftdruck erzeugt eine Kraft gegen die Schließfeder und hebt den Steuerkolben vom Ventilsitz ab. Der Anschluß P ist mit dem Anschluß A verbunden.

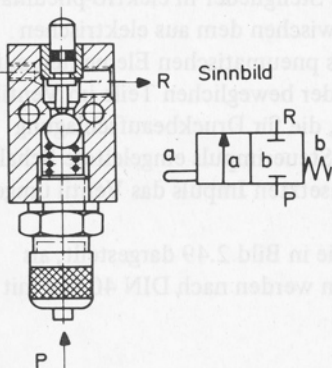


Bild 2.50 2/2-Wegeventil (Festo)

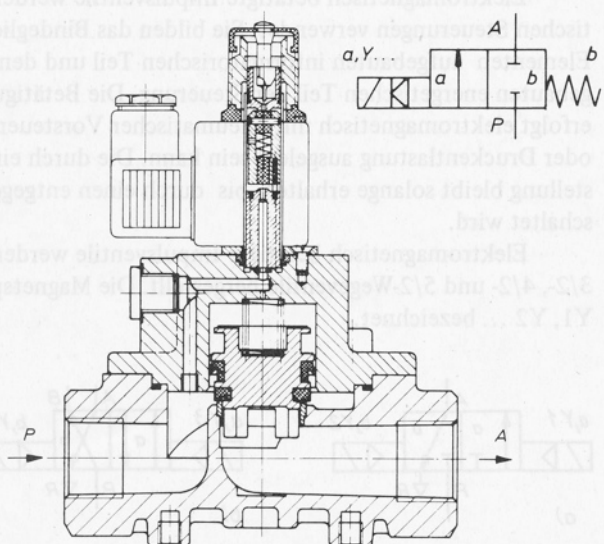
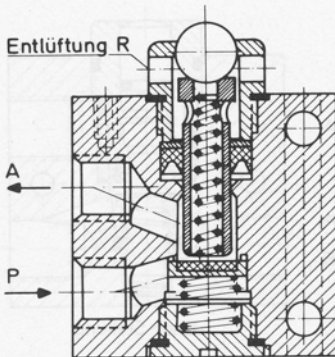


Bild 2.51 2/2-Wegeventil vorgesteuert (Herion)



Sinnbild

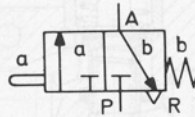


Bild 2.52

3/2-Wegeventil mit Sperr-Ruhe-Stellung (Festo)

Um unnötigen Luftverbrauch zu vermeiden und einen störungsfreien Arbeitsablauf zu gewährleisten, sollen bei mechanischer und pneumatischer Betätigung nur überschneidungsfreie 3/2-Wegeventile verwendet werden. Das heißt beim Schalten von der Ruhestellung in die Schaltstellung a und umgekehrt, darf der Druckanschluß P nicht mit der Entlüftung R verbunden werden. Das Bild 2.52 zeigt den Schnitt durch ein überschneidungsfreies 3/2-Wegeventil mit Sperrnullstellung.

In der Ruhestellung wird der Anschluß P durch den Ventilteller gegen den Anschluß A und gegen die Entlüftung R verschlossen. Wird das Ventil betätigt, d.h. die Kugel und der Ventilstößel nach unten gedrückt, so wird durch das Aufsetzen des Stößels auf den Ventilteller der Anschluß A gegen die Entlüftung R verschlossen. Beim weiteren Verschieben von Kugel und Stößel wird der Ventilteller von seinem Sitz abgehoben und die Luft kann von Anschluß P nach Anschluß A strömen (Schaltstellung a).

Beim Wegnehmen der Betätigungskraft schließt zuerst der Ventilteller den Anschluß P gegen den Anschluß A, erst dann wird der Anschluß A mit der Entlüftung R verbunden.

Die Entlüftung R hat keinen Gewindeanschluß, es kann keine Leitung angeschlossen und kein Schalldämpfer eingeschraubt werden.

Im Bild 2.53 ist der Schnitt durch ein 3/2-Wegeventil dargestellt, welches als Ventil mit Sperr-Ruhestellung und als Ventil mit Durchfluß-Ruhe-Stellung verwendet werden kann. In beiden Fällen arbeitet das Ventil überschneidungsfrei. Bei Sperr-Ruhe-Stellung gelten die nicht eingeklammerten Anschlußbezeichnungen bei Durchfluß-Ruhe-Stellung die eingeklammerten Anschlußbezeichnungen. In unbetätigtem Zustand (Ruhe-Stellung) ist der Anschluß P gesperrt und der Anschluß A ist mit dem Anschluß R verbunden. Beim Niederdrücken des Betätigungsstiftes wird zuerst der Anschluß A gegen den Anschluß R verschlossen (Mittelstellung) erst dann gibt beim weiteren Niederdrücken die durch eine Feder gegen den Ventilsitz gedrückte Büchse den Weg vom Anschluß P zum Anschluß A frei (Endstellung). Beim Wegnehmen der Betätigungskraft wird zuerst der Anschluß P gesperrt, dann wird der Anschluß A nach R entlüftet.

In Bild 2.54 ist ein elektromagnetisch betätigtes, pneumatisch vorgesteuertes 4/4-Wegeventil dargestellt. In der Ruhe-Stellung sind die beiden Arbeitsanschlüsse (Anschluß A und B) mit den Entlüftungsbohrungen (Anschluß R und S) verbunden. Durch die größere, mit Druckluft beaufschlagte Fläche des Steuerkolbens, wird der Anschluß P durch die beiden mit den Steuerkolben verbundenen Ventilteller verschlossen. Bei Erregen der einen oder

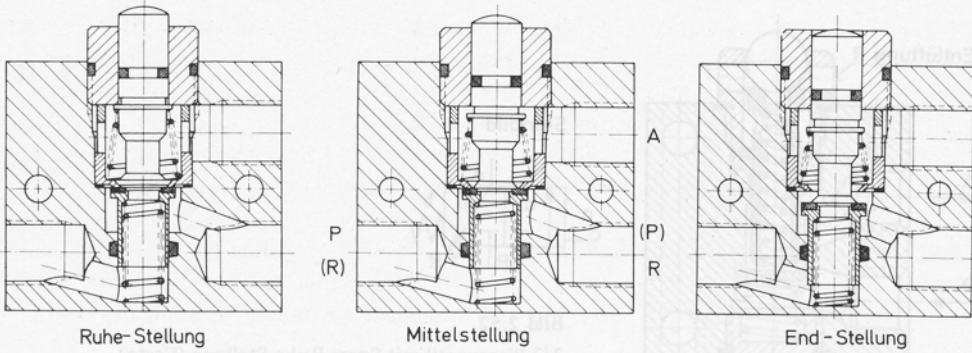
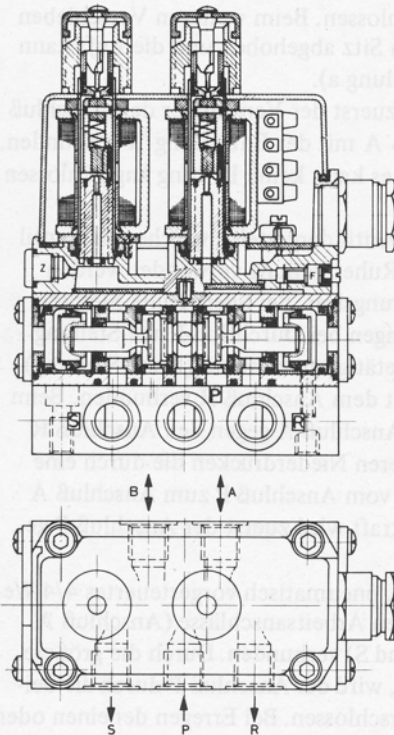
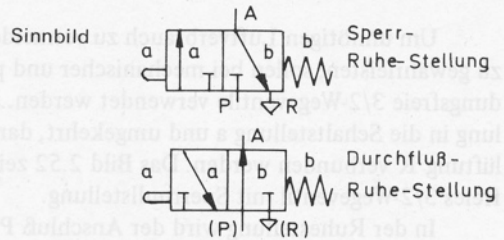


Bild 2.53 3/2-Wegeventil (Bosch)



Sinnbild

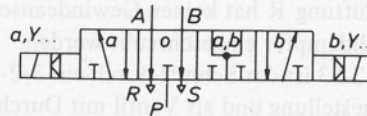


Bild 2.54 5/4-Wegeventil (Herion)

anderen Magnetspule sperrt das jeweilige Vorsteuerventil den Druckluftzufluß zum Steuerzylinder und entlüftet diesen. Der auf dem Ventilteller vom Anschluß P her lastende Druck verschiebt Steuerkolben und Ventilteller bis zum gegenüberliegenden Ventilsitz. Der Anschluß P ist z.B. mit dem Anschluß A verbunden und der Anschluß R ist gesperrt. Nach dem Entregen der Magnetspule öffnet das Vorsteuerventil, der Steuerkolben wird wieder mit Druckluft beaufschlagt und gegen den Ventilsitz am Anschluß P verschoben. Anschluß P ist gesperrt.

Beim Erregen beider Magnetspulen werden beide Steuerzylinder entlüftet und die beiden voneinander unabhängigen Steuerkolben mit den Ventiltellern werden nach außen verschoben. Der Anschluß P ist dann mit den Anschlüssen A und B verbunden. Beide Entlüftungen sind gesperrt.

Diese Ventile arbeiten nicht überschneidungsfrei. Bei elektro-pneumatisch betätigten Ventilen ergeben sich sehr kurze Schaltzeiten, eine Überschneidung wirkt sich daher nicht nachteilig aus.

- **Schiebeventile.** Bei Schiebeventilen werden die Anschlüsse durch Kolbenschieber, Flachschieber oder Drehschieber verschlossen oder miteinander verbunden.

Das in Bild 2.55 dargestellte Handschiebeventil, ein 3/2-Wegeventil eignet sich als Abschaltventil (Hauptventil) vor pneumatischen Anlagen.

Durch verschieben der äußeren Hülse wird der Anschluß P mit dem Anschluß A verbunden oder der Anschluß P gesperrt und der Anschluß A nach R entlüftet.

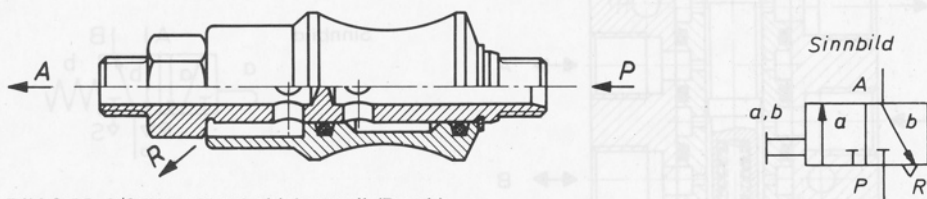


Bild 2.55 3/2-Wege-Handschiebeventil (Bosch)

Bei Kolbenschieberventilen wird der Schieber entweder durch Dichtelemente gedichtet (Bild 2.56) oder er wird, wie in Bild 2.57 dargestellt, spielfrei in die Führungsbüchse eingepaßt. Die Schieber sind druckentlastet, d.h. die Druckluft übt in Achsrichtung keine Kraft auf den Schieber aus. Zum Betätigen des Ventiles ist daher nur die Reibkraft und gegebenenfalls die Federkraft zu überwinden.

Das Ventil in Bild 2.56 ist pneumatisch durch Druckentlastung zu betätigen. Beide Steuerzylinder sind durch eine Bohrung mit dem Anschluß P verbunden. Die Funktion dieses Ventiles ist in Abschnitt 2.8.2.3 beschrieben.

Bei dem pneumatisch durch Druckbeaufschlagung betätigten Flachschieberventil nach Bild 2.58 gleicht sich die Abnützung am Schieber selbsttätig aus. Der Schieber wird immer durch Druckluft gegen die Dichtfläche gedrückt und verbindet, je nach dem welcher Steueranschluß mit Druckluft beaufschlagt wird, den Anschluß P mit dem Anschluß A und den Anschluß B mit dem Anschluß R (wie gezeichnet) oder den Anschluß P mit dem Anschluß B und den Anschluß A mit dem Anschluß R.

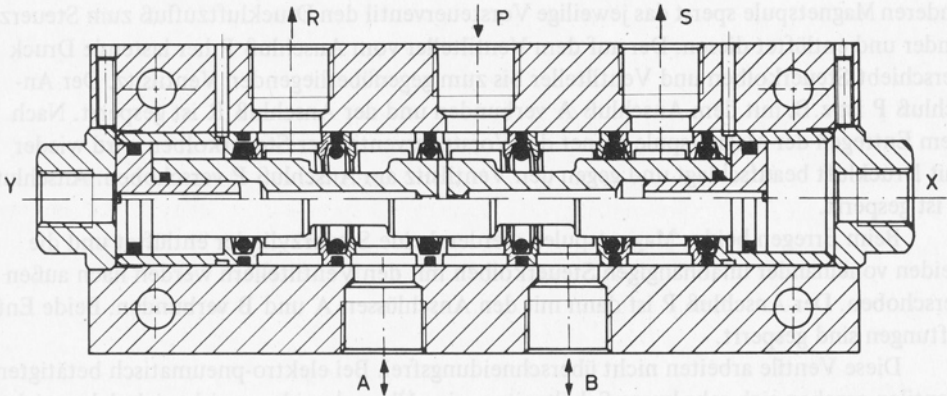


Bild 2.56 5/2-Wegeventil Kolbenschieber (Drumag)

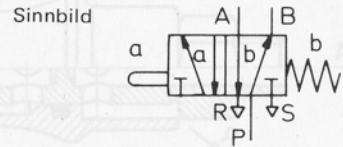
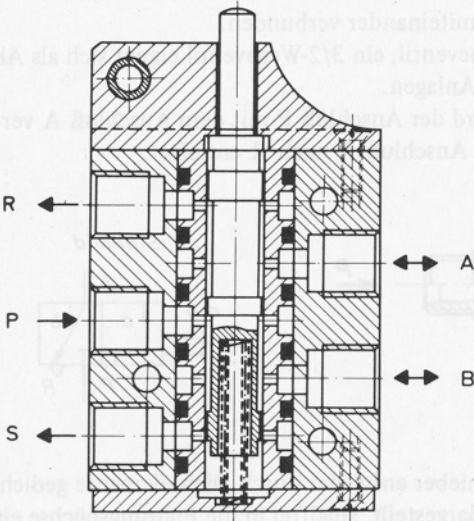
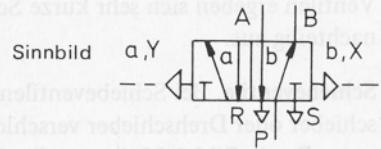
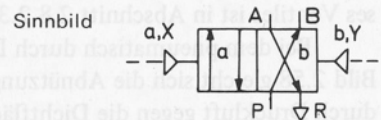
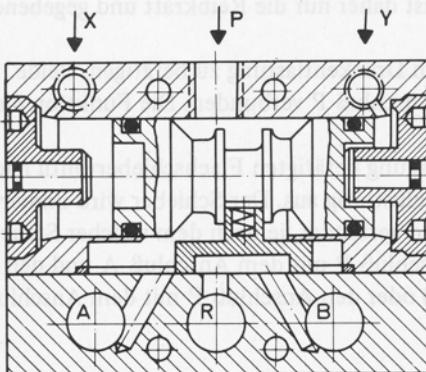


Bild 2.57 5/2-Wegeventil (Herion)

Bild 2.58 4/2-Wegeventil, Flachschieber (Festo)
betätigt durch Druckbeaufschlagung

In Bild 2.59 ist ein pneumatisch durch Druckentlastung betätigtes Flachschieberventil dargestellt. Die beiden Steuerzylinder sind durch Bohrungen von ca. 1 mm Durchmesser mit dem Druckluftanschluß P verbunden. Die Funktion dieses Ventiles ist im Abschnitt 2.8.2.3 beschrieben.

Der Druck des Arbeitsmedium hat auf die Betätigungskraft bei Kolben- und Flachschieberventilen nur geringen Einfluß. Diese Ventile eignen sich daher für manuell betätigte Ventile, da die Bedienungsperson nicht durch hohe Betätigungskräfte belastet wird. Bei pneumatisch betätigten Ventilen können die Steuerzylinder klein gehalten werden.

Flachdrehchieber wie in Bild 2.60 dargestellt, werden meist nur mit Fuß oder Handbetätigung gebaut, da sich andere Betätigungsarten konstruktiv schlecht anfügen lassen.

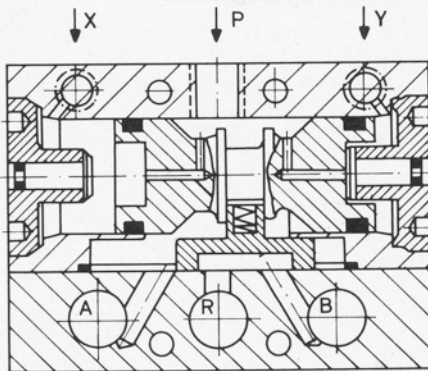
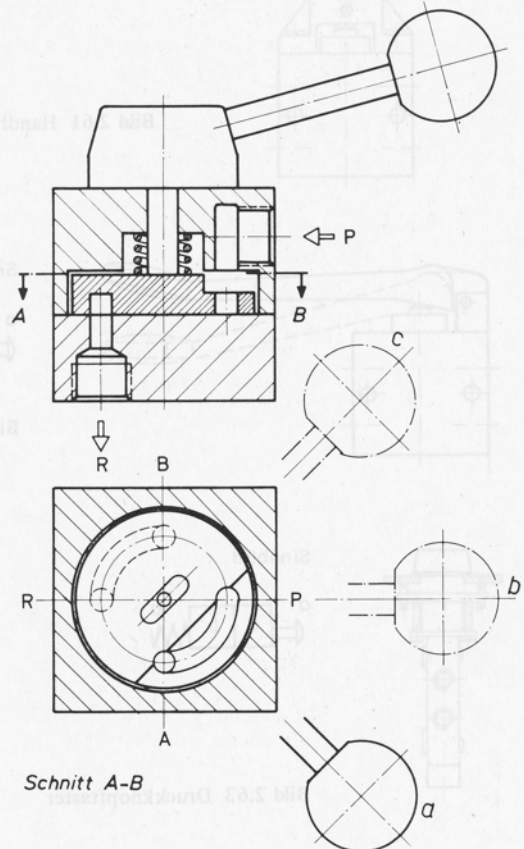
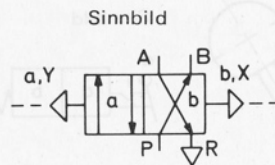


Bild 2.59 4/2-Wegeventil, Flachschieber (Festo) betätigt durch Druckentlastung



Schnitt A-B

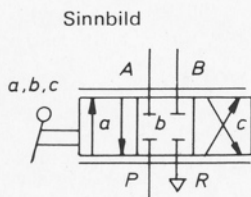


Bild 2.60

4/3-Wegeventil, Flachschieber (Festo)

- **Betätigungselemente.** Entsprechend der in Tabelle 2.2 dargestellten Sinnbilder für Betätigungselemente sind in diesem Abschnitt die Bauformen der Betätigungselemente behandelt.

a) Betätigung durch Muskelkraft

Bei dem Handhebelventil nach Bild 2.61 bleibt die jeweilige Schaltstellung erhalten, das Ventil hat keine Ruhestellung. Bei dem Tastventil nach Bild 2.62 wird nach dem Wegnehmen der Betätigungskraft die Ruhestellung wieder hergestellt. Bei der Auswahl dieser Ventile ist auf griffgünstige Form des Betätigungselementes zu achten. Die Bedienungsperson soll nicht mit den Fingerspitzen den Pilz am Taster suchen müssen, sondern ein großer glatter Tasthebel soll die Betätigung des Ventiles mit der flachen Hand ermöglichen. Das in Bild 2.63 dargestellte Ventil mit Druckknopfbetätigung eignet sich zum Einbau in Schalttafeln. Ein Fußventil (Pedal) ist in Bild 2.64 dargestellt.

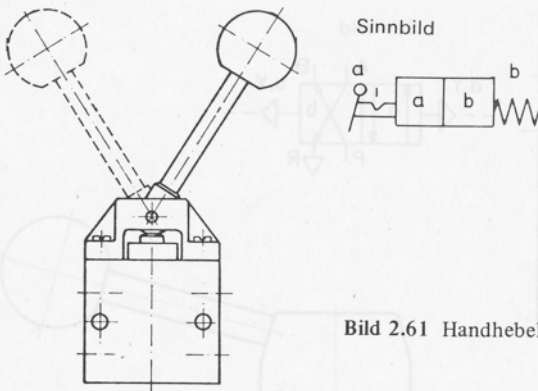


Bild 2.61 Handhebelventil

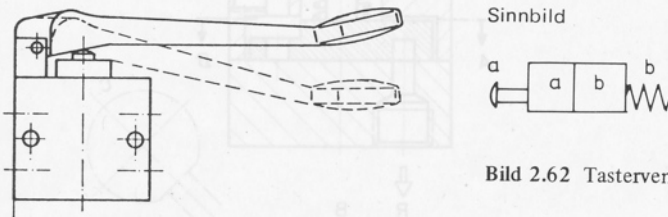


Bild 2.62 Tasterventil

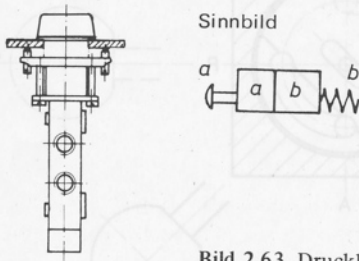


Bild 2.63 Druckknopftaster

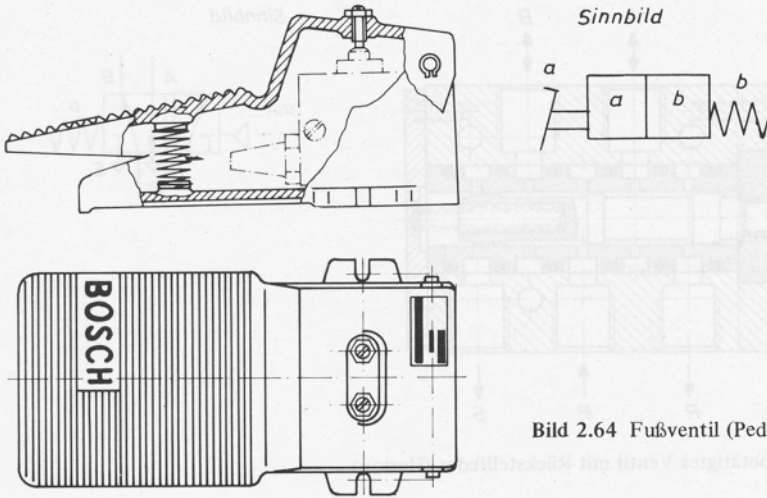


Bild 2.64 Fußventil (Pedal)

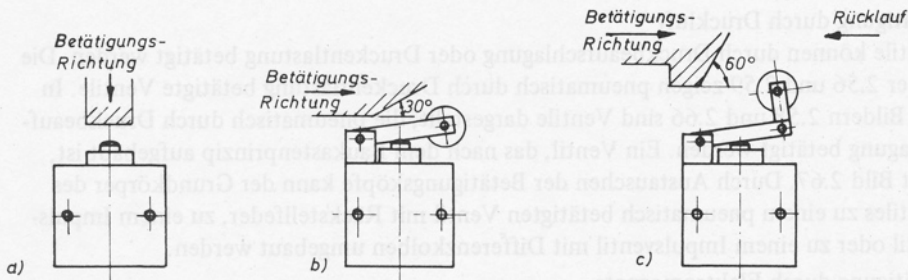


Bild 2.65 Betätigungselemente für Kurven, Nocken und Lineale

a) Taststift, b) Rollenhebel, c) Rollenhebel mit Leerrücklaufrolle

b) Betätigung durch Nocken; Kurven oder Lineale

Ventile mit Taststift sollen nach Möglichkeit nur in Richtung des Betätigungshubes angefahren werden (Bild 2.65a).

Rollenhebelventile eignen sich für die Betätigung durch Nocken, Kurven oder Lineale. Der Winkel des Betätigungselementes soll um eine unnötige Belastung des Ventiles zu vermeiden, wie in Bild 2.65b dargestellt, nicht größer als 30° sein. Nach Möglichkeit ist die in der Zeichnung dargestellte Betätigungsrichtung einzuhalten.

Sollte von einem Antriebsglied oder einer Baueinheit ein Signalglied nur in einer Bewegungsrichtung betätigt werden, ist ein Rollenhebelventil mit Leerrücklaufrolle zu verwenden (Bild 2.65c). Das Ventil wird nur in Betätigungsrichtung geschaltet, es muß vom Nocken überfahren werden und bei der Bewegung gegen die Betätigungsrichtung (Rücklauf) kippt der kurze Hebel um, die Rolle weicht dem Schaltnocken aus, das Ventil wird nicht betätigt.

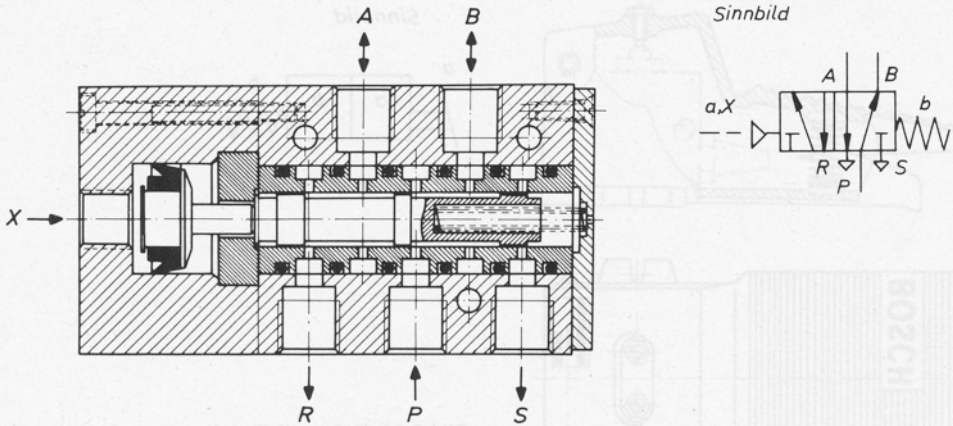


Bild 2.66 Pneumatisch betätigtes Ventil mit Rückstellfeder (Herion)

c) Betätigung durch Druckluft

Ventile können durch Druckbeaufschlagung oder Druckentlastung betätigt werden. Die Bilder 2.56 und 2.59 zeigen pneumatisch durch Druckentlastung betätigte Ventile. In den Bildern 2.58 und 2.66 sind Ventile dargestellt, die pneumatisch durch Druckbeaufschlagung betätigt werden. Ein Ventil, das nach dem Baukastenprinzip aufgebaut ist, zeigt Bild 2.67. Durch Austauschen der Betätigungsköpfe kann der Grundkörper des Ventiles zu einem pneumatisch betätigten Ventil mit Rückstellfeder, zu einem Impulsventil oder zu einem Impulsventil mit Differenzkolben umgebaut werden.

d) Betätigung durch Elektromagnete

Die beweglichen Teile dieser Ventile werden durch den Anker eines Elektromagneten bewegt, oder der Anker des Elektromagneten ist als Ventilteller ausgeführt. Da die von Elektromagneten abgegebenen Kräfte verhältnismäßig klein sind, sind auch die Größen der direkt betätigten Ventile begrenzt.

Elektromagnetventile werden mit Gleichstrommagneten oder mit Wechselstrommagneten hergestellt. Wechselstrommagnete zeichnen sich durch kurze Schaltzeiten aus, haben jedoch einen hohen Anzugstrom und erst in der Hubendlage des Ankers stellt sich der geringere Haltestrom ein. Sie sind daher empfindlich gegen Über- oder Unterspannungen und gegen mechanische Hemmungen. Gleichstrommagnete sind unempfindlich gegen Über- und Unterspannungen und gegen mechanische Hemmungen, da der Stromendwert bei diesen Magneten nur abhängig ist vom ohmschen Widerstand der Erregerwicklung und nicht von der Induktivität, die sich mit dem Hub ändert.

Vorgesteuerte Elektromagnetventile sind in den Bildern 2.51, 2.54 und 2.69 dargestellt. Das Elektromagnetventil in Bild 2.68 ist direkt gesteuert, d.h. der Anker des Elektromagneten ist fest mit dem Ventilteller verbunden. Ventile dieser Art haben den Vorteil, daß sie auch bei sehr niedrigen Drücken oder bei Vakuum eingesetzt werden können.

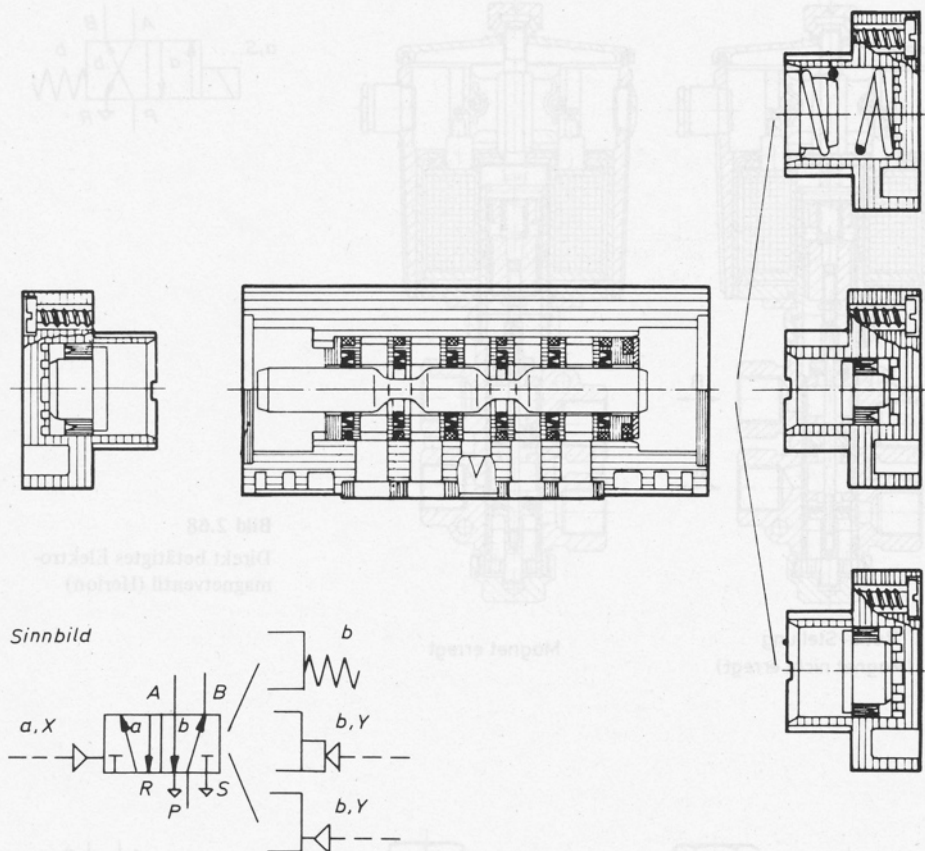


Bild 2.67 Pneumatisch betätigtes Ventil, Baukastenprinzip (Bosch)

- Montagearten.** Die verschiedenen Montagearten sind in Bild 2.70 dargestellt. Ventile, die Gewindebohrungen für Leitungsanschlüsse in den Ventilkörper eingearbeitet haben, werden durch Verschraubungen direkt mit den Leitungen verbunden. Bei umfangreichen Steuerungen ist es jedoch zu empfehlen Ventile einzusetzen, die auf Anschlußplatten montiert werden. Bei diesen Ventilen werden die Leitungen mit den Anschlußplatten verbunden, die Ventilkörper haben keine Gewindebohrungen, sondern Anschlußbohrungen, die sich mit den entsprechenden Bohrungen in den Anschlußplatten decken. Der Ventilkörper wird mit 2 oder 4 Schrauben auf der Anschlußplatte befestigt und bei Störungen braucht nur der Ventilkörper von der Anschlußplatte abgeschraubt werden, die Leitungen müssen nicht gelöst werden.

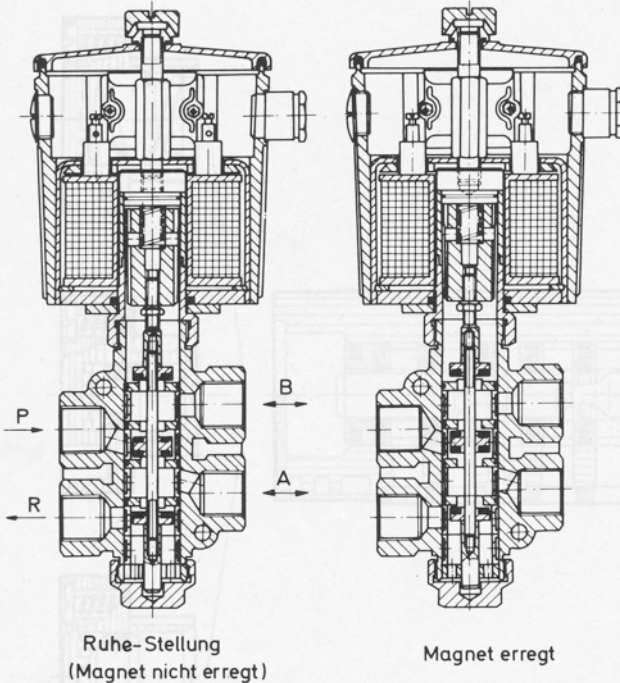


Bild 2.68

Direkt betätigtes Elektro-
magnetventil (Herion)

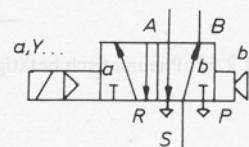
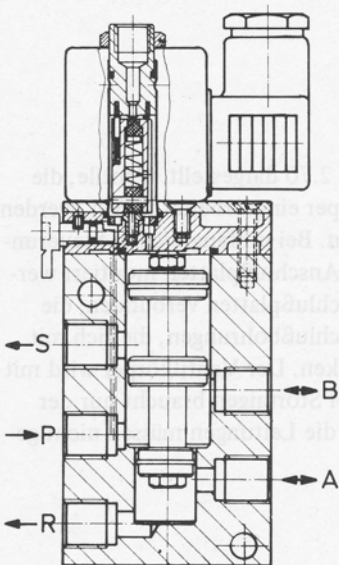


Bild 2.69

Vorgesteuertes Elektro-
magnetventil (Herion)

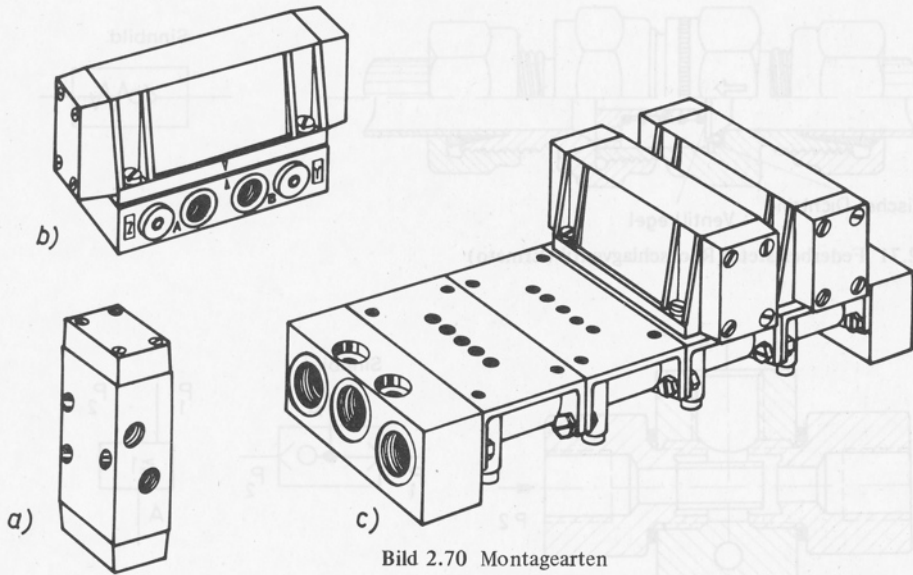


Bild 2.70 Montagearten

a) Rohranschluß, b) Plattenanschluß, c) Sammelanschlußplatte

Die Verwendung von Sammelanschlußplatten ermöglicht die Aneinanderreihung mehrerer Ventile. Dadurch wird nicht nur ein übersichtlicher Aufbau der Steuerelemente erreicht, sondern auch Platz und Zeit bei der Montage gespart. Der Druckluftanschluß für die Versorgung der auf einer Sammelanschlußplatte montierten Ventile muß nur einmal an die Sammelanschlußplatte herangeführt werden und die Zusammenfassung der einzelnen Entlüftungsbohrungen vereinfacht den Anschluß eines zentralen Filter-Schalldämpfers.

2.8.3 Bauformen und Sinnbilder der Sperrventile

Sperrventile sind Ventile, die den Durchfluß vorzugsweise in einer Richtung sperren und in entgegengesetzter Richtung freigeben. Der Druck auf der Abflußseite belastet das sperrende Teil und unterstützt dadurch das Schließen des Ventiles.

2.8.3.1 Rückschlagventil

Rückschlagventile können nur in einer Richtung durchströmt werden, in entgegengesetzter Richtung ist das Ventil gesperrt. Aufbau und Sinnbild eines federbelasteten Rückschlagventiles sind in Bild 2.71 dargestellt. Federbelastete Rückschlagventile können in jeder Lage eingebaut werden und werden dort eingesetzt, wo aus Sicherheitsgründen der Druck in pneumatischen Anlagen gehalten werden muß, wenn der Druck im Netz abfällt.

2.8.3.2 Wechselventil

Das Wechselventil ist ein Sperrventil mit zwei sperrbaren Druckanschlüssen P1 und P2 und einem Auslaß A. Der Druckanschluß, der unter höherem Druck steht, ist mit dem Auslaß A verbunden, der andere Druckanschluß ist gesperrt. Beim Rückströmen bleibt die Ventilstellung erhalten.

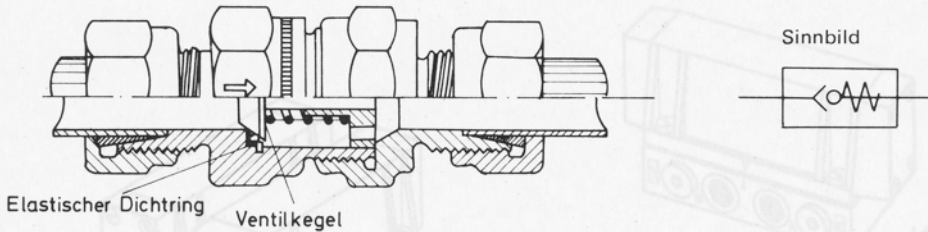


Bild 2.71 Federbelastetes Rückschlagventil (Ermeto)

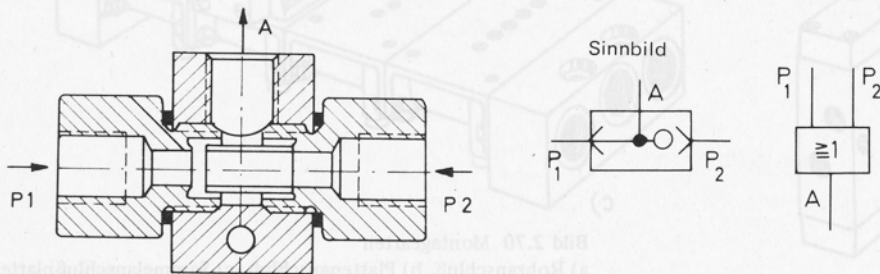


Bild 2.72 Wechselventil (Bosch)

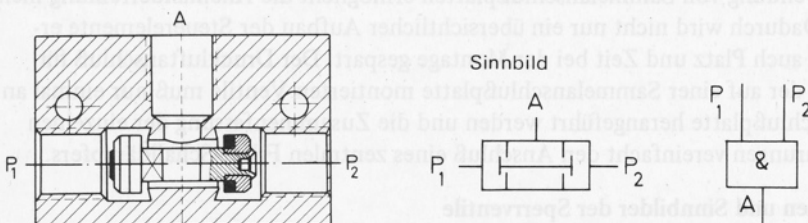


Bild 2.73 Zweidruckventil (Bosch)

Das Ventil stellt eine ODER-Funktion dar, es eignet sich dazu, Signale, die wahlweise von Signalgliedern an verschiedenen Standorten abgegeben werden, an eine Stelle weiterzuleiten.

In Bild 2.72 ist der Aufbau eines Wechselventiles und das Sinnbild dargestellt.

2.8.3.3 Zweidruckventil

Das Zweidruckventil ist ein Sperrventil mit zwei sperrbaren Druckanschlüssen P1 und P2 und einem Auslaß A. Der Druckanschluß, der unter höherem Druck steht ist gesperret, der andere Druckanschluß ist mit dem Auslaß A verbunden. Durchfluß ist nur dann gegeben, wenn beide Druckanschlüsse unter Druck stehen.

Das Ventil stellt eine UND-Funktion dar, am Auslaß A erscheint erst dann ein Signal, wenn an beiden Druckanschlüssen P1 und P2 Druck vorhanden ist. Der Aufbau und das Sinnbild sind in Bild 2.73 dargestellt.

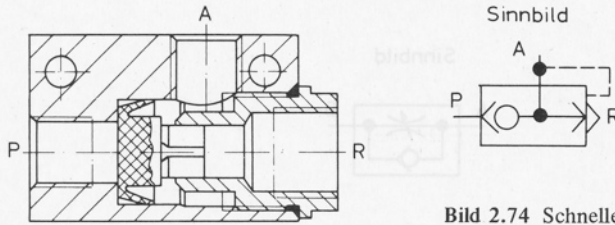


Bild 2.74 Schnellentlüftungsventil (Bosch)



Bild 2.75 Sinnbild für Drossel

2.8.3.4 Schnellentlüftungsventil

Das Schnellentlüftungsventil ist ein Sperrventil mit einem sperrbaren Druckanschluß P, einer sperrbaren Entlüftung R und einem Auslaß A. Steht der Anschluß P unter Druck, ist die Entlüftung R geschlossen und die Luft hat freien Durchfluß nach A. Wird der Anschluß P drucklos, schaltet der bei A anstehende Druck (Entlüftungsvorgang) das Ventil derart, daß die Entlüftung R geöffnet und der Anschluß P gesperrt wird.

In Bild 2.74 ist der Aufbau und das Sinnbild eines Schnellentlüftungsventiles dargestellt.

Das Ventil eignet sich zur raschen Entlüftung von Zylindern oder Druckübersetzern. Die größte Schnellentlüftungswirkung wird dann erzielt, wenn das Ventil so nahe wie möglich am Zylinder angebracht wird, damit der Weg der Abluft ins Freie kurz ist.

2.8.4 Bauformen und Sinnbilder der Stromventile

Stromventile sind Ventile, die den Durchflußstrom beeinflussen (Strom = Menge pro Zeit). Sie werden zur Regelung der Kolbenstangengeschwindigkeit bei Druckluftzylindern verwendet und dienen bei Zeitgliedern zur Beeinflussung der Behälterfüllzeit.

2.8.4.1 Drosselventil

Durch eine Einschnürung (= Drossel) wird der Leitungsquerschnitt verkleinert und dadurch der Durchfluß vermindert. Die Drosselung ist in beiden Richtungen wirksam und kann nicht verstellt werden. Das Sinnbild einer Drossel zeigt Bild 2.75.

Drosselventile mit veränderlichem Durchflußquerschnitt ermöglichen die Regelung des Volumenstromes. In Bild 2.76 ist der Aufbau und das Sinnbild einer verstellbaren Drossel dargestellt. Die Drosselung ist in beiden Richtungen wirksam. Der Drosselquerschnitt kann durch Hinein- bzw. Herausschrauben des Gewindestückes verändert werden.

Zur Regelung der Kolbenstangengeschwindigkeit eignen sich die in Bild 2.77 dargestellten Einschraubdrosseln. Diese Drosseln werden in die Entlüftungsbohrungen R und S der Wegeventile (Stellglieder) eingeschraubt und regeln den Abluftstrom des Zylinders (siehe Abschnitt 3.8.8 Regelung der Kolbenstangengeschwindigkeit).

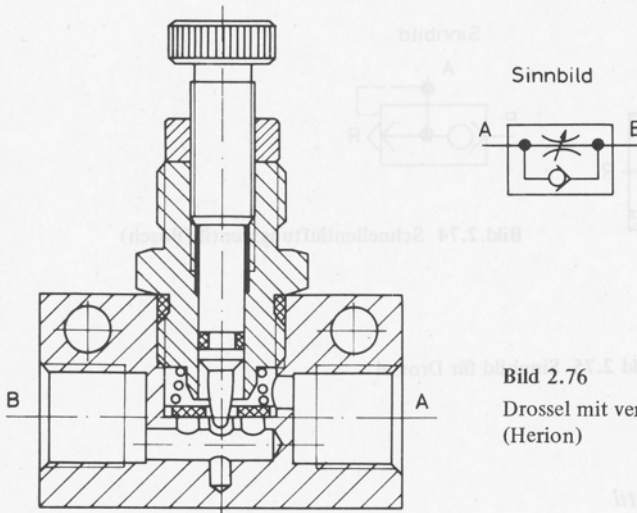


Bild 2.76

Drossel mit veränderlichem Querschnitt
(Herion)

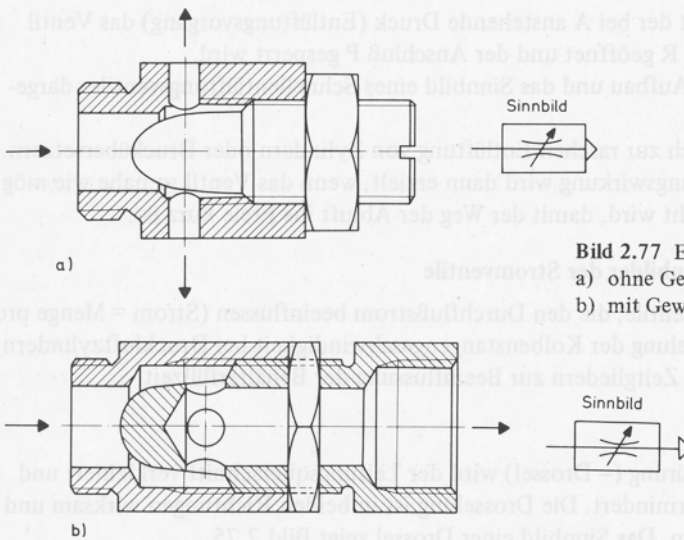


Bild 2.77 Einschraubdrossel

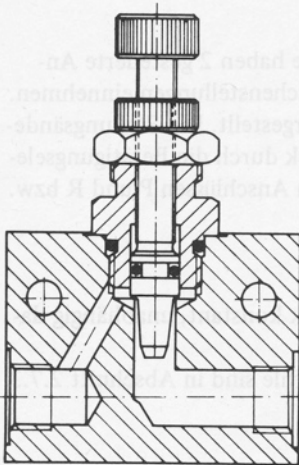
a) ohne Gewindeanschluß

b) mit Gewindeanschluß

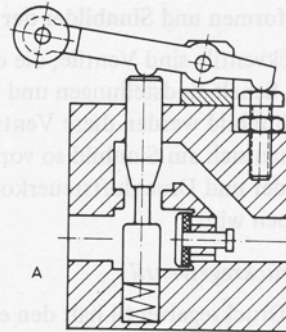
Bei der Einschraubdrossel nach Bild 2.77a entweicht die Luft direkt ins Freie, in die Drossel nach Bild 2.77b kann zur Vermeidung störender Abluftgeräusche ein Schalldämpfer eingebaut werden.

2.8.4.2 Drosselrückschlagventil

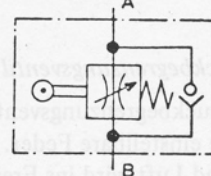
Wird das Ventil nach Bild 2.78 von A nach B durchströmt, schließt die Gummischiebe die Verbindungsbohrungen der beiden Anschlüsse und die Druckluft kann nur durch den



Sinnbild

Bild 2.78 Drosselrückschlagventil
(Bosch)

Sinnbild

Bild 2.79 Drosselrückschlagventil
mit verstellbarer Drossel (Festo)

Ringspalt der Drossel fließen. Durch Hinein- und Herausdrehen des Gewindestückes kann der Ringspalt (= Drosselquerschnitt) verkleinert oder vergrößert werden. Beim Durchströmen des Ventiles in Richtung B nach A, wird die Gummischeibe von der Druckluft gegen die Feder angehoben (das Rückschlagventil öffnet) und die Luft hat freien Durchfluß. Da bei diesem Ventil der Luftstrom nur in einer Richtung gedrosselt wird, kann es in Arbeitsluftleitungen zwischen Antriebsglied und Stellglied eingebaut werden. Es eignet sich zur Regelung der Zuluft, wie auch zur Regelung der Abluft (siehe Abschnitt 3.8.8, Regelung der Kolbenstangengeschwindigkeit).

2.8.4.3 Drosselrückschlagventil mit verstellbarer Drossel, mechanisch durch Rollenhebel betätigt

Soll die Kolbengeschwindigkeit eines Zylinders während des Bewegungsablaufes verändert werden, kann dies durch Drosselung der Abluft oder Zuluft mit dem Drosselrückschlagventil nach Bild 2.79 erfolgen. An diesem Ventil kann mit der Einstellschraube ein gewünschter Drosselquerschnitt eingestellt werden, der die Ausgangsgeschwindigkeit des Kolbens bestimmt. Wird durch ein Lineal (= Steuerschiene), das an der bewegten Baueinheit oder an der Kolbenstange des Antriebsgliedes befestigt ist, der Rollenhebel mehr oder weniger niedergedrückt, wird der Drosselquerschnitt entsprechend der Hebelstellung verkleinert. Von B nach A kann das Ventil ohne Widerstand durchströmt werden. (Einsatz des Ventiles siehe Abschnitt 3.8.8, Regelung der Kolbengeschwindigkeit.)

2.8.5 Bauformen und Sinnbilder der Druckventile

Druckventile sind Ventile, die den Druck beeinflussen. Sie haben 2 gesteuerte Anschlüsse, 2 Schalt-Endstellungen und können beliebig viele Zwischenstellungen einnehmen.

Im Sinnbild werden diese Ventile mit einem Rechteck dargestellt. Die Stellungsänderung hat man sich am Sinnbild so vorzustellen, daß das Rechteck durch die Betätigungselemente (Feder und Druckluftsteuerkolben) rechtwinkelig zu den Anschlüssen P und R bzw. A verschoben wird.

2.8.5.1 Druckregelventil

Das Druckregelventil hält den eingestellten Ausgangsdruck konstant, unabhängig davon, ob der Luftverbrauch oder der Eingangsdruck schwankt.

Aufbau, Wirkungsweise und Sinnbilder der Druckregelventile sind in Abschnitt 2.7.3 beschrieben.

2.8.5.2 Druckbegrenzungsventil

Das Druckbegrenzungsventil begrenzt den Druck am Ventileingang P. Die Schließkraft bestimmt die einstellbare Feder. Überschreitet der Druck bei P die Kraft der Feder, öffnet das Ventil und Luft wird ins Freie abgeblasen. Dieses Ventil wird als Sicherheitsventil eingesetzt. Bild 2.80 zeigt ein Druckbegrenzungsventil und das zugehörige Sinnbild.

2.8.5.3 Zuschaltventile

Das Zuschaltventil gibt nach Erreichen eines durch die Feder eingestellten Druckes bei P den Weg nach A frei.

Mit diesem Ventil können Druckfolgesteuerungen aufgebaut werden, doch kann in der Pneumatik, wegen des niedrigen Arbeitsdruckes, das Ventil nur bedingt eingesetzt werden. Druckstöße im Leitungssystem können zu Fehlschaltungen führen. Ein Zuschaltventil ist in Bild 2.81 dargestellt.

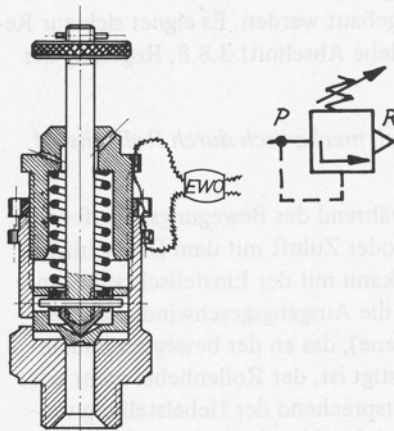


Bild 2.80 Druckbegrenzungsventil (EWO)

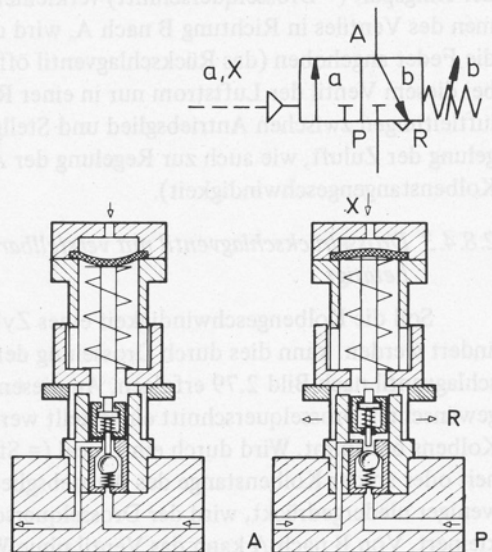


Bild 2.81 Zuschaltventil (Festo)

2.8.5.4 Impulswandler

Die Aufgabe eines Impulswandlers ist, den von einem betätigten Signalglied (3/2-Wegeventil mit Sperr-Ruhe-Stellung) abgegebenen Dauerluftstrom in einen kurzen Schaltimpuls zu verwandeln.

Die bei Anschluß P in das Gerät eintretende Druckluft kann ungehindert zum Anschluß A (Bild 2.82). Durch die Drosselbohrung im Steuerschieber strömt langsam Luft hinter den Steuerkolben und verschiebt diesen gegen die Feder bis der Anschluß P gegen den Anschluß A verschlossen ist. Die Schaltdauer beträgt ca. 1 Sekunde. In dieser Stellung des Steuerschiebers wird durch die Ausfräsung im Schieber der Anschluß A nach R entlüftet. Wird der Anschluß P entlüftet, kann die Luft hinter dem Steuerkolben entweichen und die Feder drückt diesen in die Ausgangsstellung zurück.

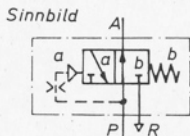
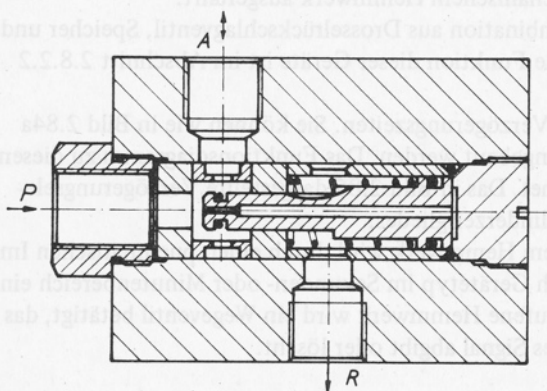


Bild 2.82 Impulswandler (Drumag)

Sinnbild

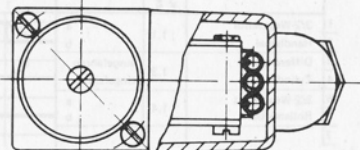
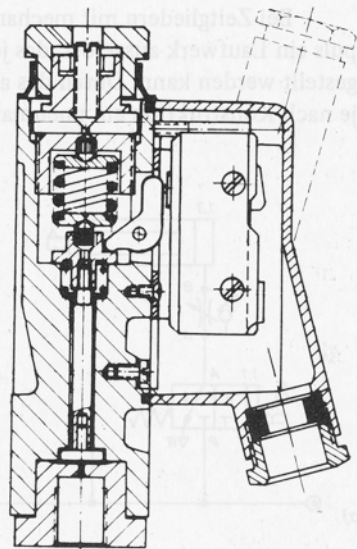
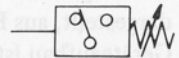


Bild 2.83 Druckschalter (Herion)

2.8.5.5 Druckschalter

Druckschalter sind Geräte, die elektrische Kontakte enthalten, die pneumatisch oder hydraulisch durch Druckbeaufschlagung geöffnet oder geschlossen werden (Bild 2.83). Sie dienen in elektro-pneumatischen Steuerungen als Bindeglied zwischen Druckluft und Elektrik. Als Kontrollschalter können sie derart eingesetzt werden, daß bei Unterschreiten eines bestimmten Druckes die gesamte Anlage oder Maschine ausgeschaltet wird. In pneumatisch-hydraulischen Anlagen kann mit einem Druckschalter der Schließdruck einer Vorrichtung kontrolliert werden.

2.8.6 Zeitglieder und Zähler

In pneumatischen Steuerungen werden Zeitglieder als Behälter-Zeitglieder, Zylinder-Zeitglieder oder als Zeitglieder mit mechanischem Hemmwerk ausgeführt.

Behälter-Zeitglieder sind die Kombination aus Drosselrückschlagventil, Speicher und pneumatisch betätigtem Wegeventil. Die Funktion dieser Geräte ist im Abschnitt 2.8.2.2 erklärt.

Zylinderzeitglieder bieten große Verzögerungszeiten. Sie können wie in Bild 2.84a dargestellt, aus Einzelgeräten zusammengebaut werden. Das Funktionsdiagramm zu diesem Geräteaufbau ist in Bild 2.84b gezeichnet. Das in Bild 2.85 dargestellte Verzögerungselement arbeitet nach dem Prinzip des Zylinderzeitgliedes.

Bei Zeitgliedern mit mechanischem Hemmwerk wird durch einen pneumatischen Impuls ein Laufwerk ausgelöst, das je nach Gerätetyp im Sekunden- oder Minutenbereich eingestellt werden kann. Durch das abgelaufene Hemmwerk wird ein Wegeventil betätigt, das je nach Konstruktion ein pneumatisches Signal abgibt oder löscht.

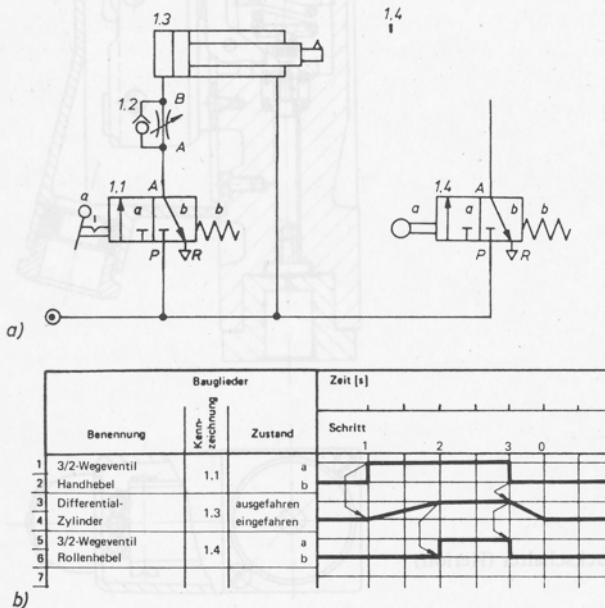


Bild 2.84

Zylinder-Zeitglied

a) Geräteplan

b) Funktions-Diagramm

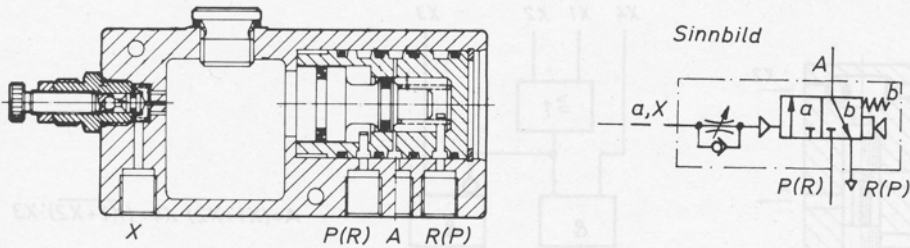


Bild 2.85 Verzögerungsventil (Bosch)

Pneumatische Zähler sind Geräte, die mit einem Antriebssystem über eine Schaltwippe ein Zahlenrollensystem antreiben, das bei Summenzählern Druckluftimpulse addiert oder bei Einstellzählern von einer vorgegebenen Zahl Druckluftimpulse bis Null subtrahiert. Die Geräte sind manuell oder pneumatisch rückstellbar. In Verbindung mit Impulsgebern – das sind Geräte, die je Minute oder je Sekunde einen Druckluftimpuls abgeben – können Zähler als Zeitglieder verwendet werden.

2.8.7 Fluidik-Elemente

2.8.7.1 Kolben-Elemente

Kolbenelemente arbeiten wie die herkömmlichen Kolbenschieberventile. Sie zählen zu den Elementen mit statischem Verhalten, d.h. die Elemente trennen durch ihre Dichtteile die Leitungen in druckführende und drucklose Abschnitte. Im Beharrungszustand wird keine Luft verbraucht. Die Elemente arbeiten überschneidungsfrei. Die Nennweite der Geräte liegt bei 2 mm, der Betriebsdruck zwischen $p_e = 0,5$ und 2 bar. Da die Kolbenelemente bis zu einem Druck von $p_e = 6$ bar eingesetzt werden können, ist es möglich, herkömmliche Ventile als Stellglieder zu verwenden, bzw. Antriebsglieder mit geringem Luftverbrauch können direkt aus dem informatorischen Teil der Steuerung versorgt werden. Durch die Kombination der Kolbenelemente mit kleinen Wechselventilen kann der Geräteaufwand einer Steuerung weiter verringert werden.

Wirkungsschemen, Sinnbilder und Gleichungen dieser Geräte sind in den Bildern 2.86, 2.87 und 2.88 zusammengestellt.

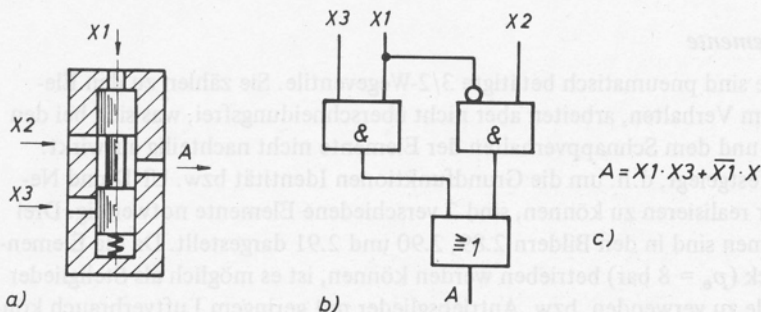


Bild 2.86 Kolben-Element (Herion) a) Wirkungschema, b) Signalfußplan, c) Gleichung

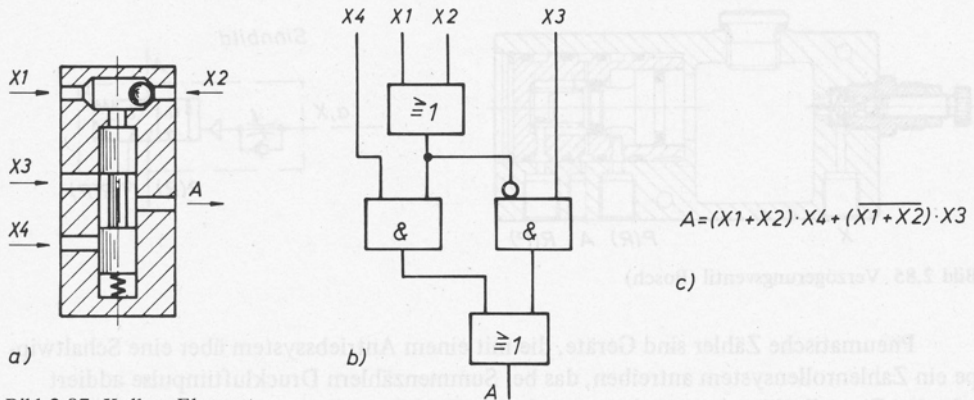


Bild 2.87 Kolben-Element

a) Wirkungsschema, b) Signalflußplan, c) Gleichung

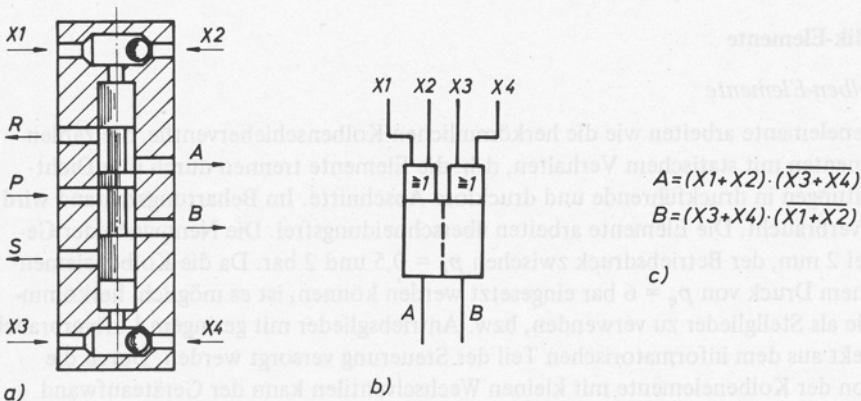


Bild 2.88 Kolben-Element

a) Wirkungsschema, b) Signalflußplan, c) Gleichung

2.8.7.2 Sitzventil-Elemente

Diese Elemente sind pneumatisch betätigte 3/2-Wegeventile. Sie zählen zu den Elementen mit statischem Verhalten, arbeiten aber nicht überschneidungsfrei, was sich bei den kleinen Schaltwegen und dem Schnappverhalten der Elemente nicht nachteilig auswirkt. Die Anschlüsse sind festgelegt, d.h. um die Grundfunktionen Identität bzw. UND und Negation bzw. Inhibitor realisieren zu können, sind 2 verschiedene Elemente notwendig. Drei verschiedene Bauformen sind in den Bildern 2.89, 2.90 und 2.91 dargestellt. Da die Elemente mit höherem Druck ($p_e = 8 \text{ bar}$) betrieben werden können, ist es möglich als Stellglieder herkömmliche Ventile zu verwenden, bzw. Antriebsglieder mit geringem Luftverbrauch können direkt aus dem informatorischen Teil der Steuerung betrieben werden.

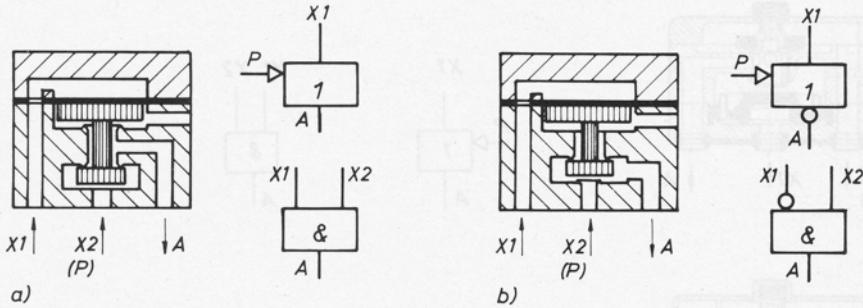


Bild 2.89 Sitzventil-Element (Crouzet)

a) Element für die Funktionen Identität ($A = X1$) und Konjunktion ($A = X1 \cdot X2$), b) Element für die Funktion Negation ($A = \overline{X1}$) und Inhibition ($A = X1 \cdot X2$)

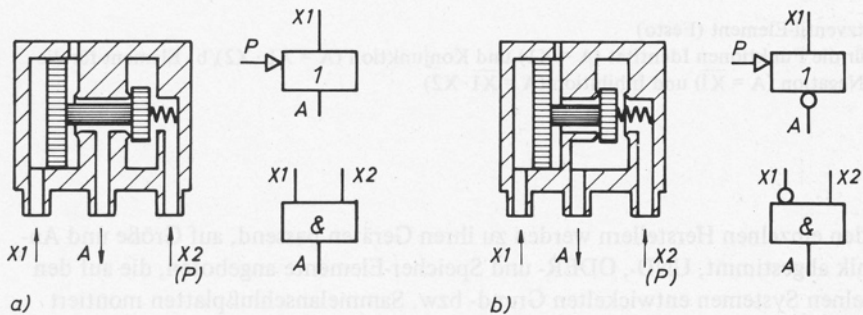


Bild 2.90 Sitzventil-Element (Schrader)

a) Element für die Funktionen Identität ($A = X1$) und Konjunktion ($A = X1 \cdot X2$), b) Element für die Funktionen Negation ($A = \overline{X1}$) und Inhibition ($A = X1 \cdot X2$)

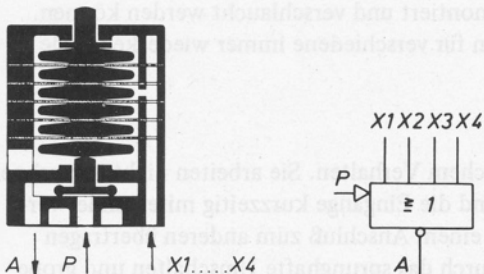


Bild 2.91

Sitzventil-Element

(Sempress) Element für die Funktion

NOR ($A = \overline{X1 + X2 + X3 + X4}$)

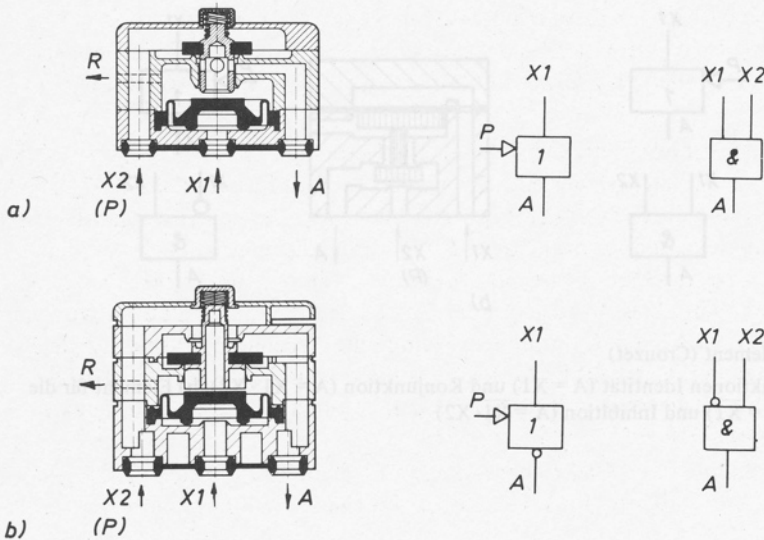


Bild 2.92 Sitzventil-Element (Festo)

a) Element für die Funktionen Identität ($A = X1$) und Konjunktion ($A = X1 \cdot X2$), b) Element für die Funktionen Negation ($A = \overline{X1}$) und Inhibition ($A = X1 \cdot X2$)

Von den einzelnen Herstellern werden zu ihren Geräten passend, auf Größe und Anschlußtechnik abgestimmt, UND-, ODER- und Speicher-Elemente angeboten, die auf den zu den einzelnen Systemen entwickelten Grund- bzw. Sammelanschlußplatten montiert werden können. Die Grundelemente des von der Fa. Festo angebotenen System 1000 sind pneumatisch betätigt, durch Rollmembranen gesteuerte, 3/2-Wege-Sitzventile. Die Elemente arbeiten mit einem Druck von $p_e = 0,1$ bar. Der Schaltdruck (Ansprechdruck) beim Anschluß X liegt im Bereich von $p_e = 0,04 \dots 0,07$ bar (Bild 2.92), wodurch die Möglichkeit besteht, diese Elemente von fluidischen Meßfühlern (Reflexaugen, Luftschraken) direkt ohne Verstärker anzusteuern. Stellglieder müssen bei diesen Steuerungen jedoch als Verstärker ausgeführt sein.

Neben diesen Grundelementen bietet das System 1000 auch Elemente für die Funktionen ODER und UND, die auf Steckkarten montiert und verschlaucht werden können. Außerdem werden fertig montierte Steckkarten für verschiedene immer wiederkehrende Verknüpfungen angeboten.

2.8.7.3 Membran-Elemente

Membranelemente sind Geräte mit statischem Verhalten. Sie arbeiten nicht überschneidungsfrei, d.h. während des Schaltvorganges sind die Eingänge kurzzeitig miteinander verbunden, wodurch sich ein geringer Impuls von einem Anschluß zum anderen übertragen kann. Bedingt durch die kleinen Schalthübe, durch das sprunghafte Umschalten und große

Entlüftungsbohrungen wirken sich diese Druckstöße nicht störend aus und müssen nur in wenigen Fällen berücksichtigt werden. Diese Geräte werden Mehrfunktions-Elemente genannt, sie sind als membranbetätigte Sitzventile aufgebaut. Folgende Systeme werden unterschieden:

a) **Doppelmembranelement mit Federrückstellung (Samsomatic)**

Das Element ist als membrangesteuertes 3/2-Wege-Sitzventil aufgebaut (Bild 2.93). Die beiden Membranen sind durch zwei Stege fest miteinander verbunden und verschließen in der Ruhe-Stellung (X1 und X2 drucklos), bedingt durch die eingebaute Feder, den Anschluß X3 gegen A; Anschluß X4 ist mit A verbunden. Durch ein Drucksignal am Anschluß X1 wird der Membranverband gegen den Sitz S1 gedrückt, Anschluß X4 wird verschlossen und Anschluß X3 mit A verbunden. Werden die Anschlüsse X1 und X2 gleichzeitig mit Druck beaufschlagt, geht bzw. bleibt das Element in Ruhestellung. Der Betriebsdruck für diese Elemente ist mit $p_e = 1,6$ bar angegeben; die Stellglieder müssen als Verstärker ausgeführt sein.

Wirkungsschema, Sinnbild und Gleichung zu diesem Element sind in Bild 2.93 dargestellt. Die Realisierung der Grundfunktionen ist in Tabelle 3.1 zusammengestellt.

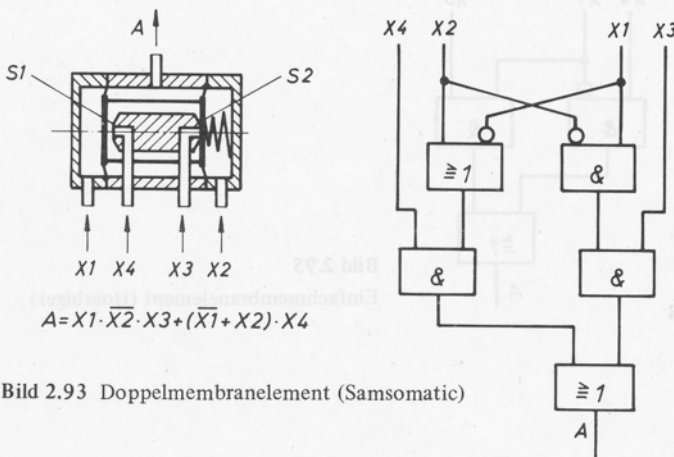


Bild 2.93 Doppelmembranelement (Samsomatic)

b) **Doppelmembranelement (Sunvic-Dreloba)**

Das Doppelmembranelement besteht aus 5 Kammern, von denen die beiden äußeren durch Membranen von den mittleren getrennt sind. Die beiden Membranen sind durch einen Steg fest miteinander verbunden (Bild 2.94). Die wirksamen Membranflächen, die den Anschlüssen X1 und X2 zugeordnet sind, sind doppelt so groß wie die der Dichtsitze. Wird die Druckversorgung an den Anschluß X4 gelegt, erscheint am Ausgang A ein Drucksignal, da durch die unterschiedlichen wirksamen Membranflächen der Ventil Sitz S1 offen und der Ventil Sitz S2 geschlossen gehalten wird. Ein Drucksignal bei X1 verschließt Ventil Sitz S1 und verbindet Anschluß X3 mit Anschluß A. Wird die Druckversorgung an X3 gelegt, erreicht man keine zusätzliche Schaltfunktion, sondern nur eine Spiegelung der oben beschriebenen Ausgangsstellung und Schaltfunktion. Der Be-

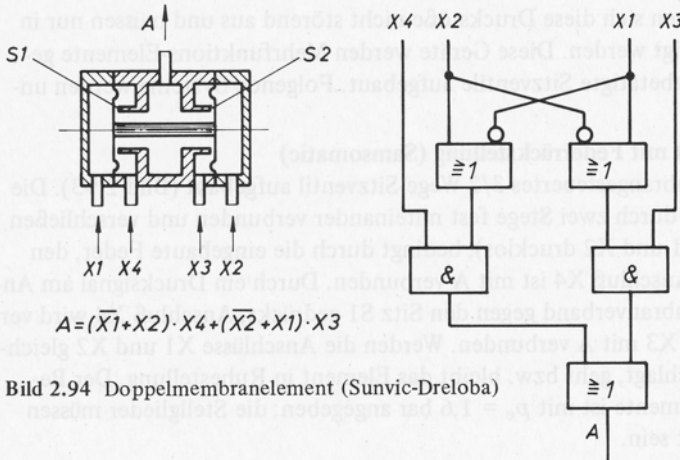


Bild 2.94 Doppelmembranelement (Sunvic-Dreloba)

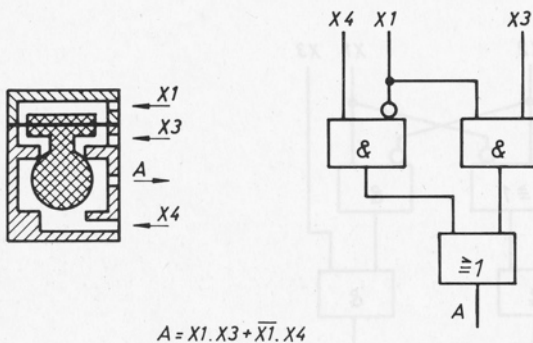


Bild 2.95

Einfachmembranelement (Hoerbiger)

triebsdruck wird mit $p_e = 1,4$ bar angegeben, die Stellglieder müssen als Verstärker ausgeführt sein. Wirkungsschema, Sinnbild und Gleichung zu diesem Element sind in Bild 2.94 dargestellt. Die Realisierung der Grundfunktionen ist in Tabelle 3.1 zusammengestellt.

c) Einfach-Membranelement (Hoerbiger)

Das Element erfüllt die Funktion eines einseitig gesteuerten 3/2-Wegeventils. Je nach Zuführung des Versorgungsdruckes an den Anschluß X2 oder X3 (Bild 2.95) erreicht man Durchfluß-Ruhe-Stellung oder Sperr-Ruhe-Stellung. Aufgrund des Flächenverhältnisses (2:1) zwischen der wirksamen Membranfläche und der Ventilsitzfläche ergeben sich für die drei Steueranschlüsse und den Auslaß die in Bild 2.95 dargestellten Schaltfunktionen. Der Betriebsdruck liegt zwischen $p_e = 1$ und 6 bar. Die Realisierung der Grundfunktionen ist in Tabelle 3.1 zusammengestellt.

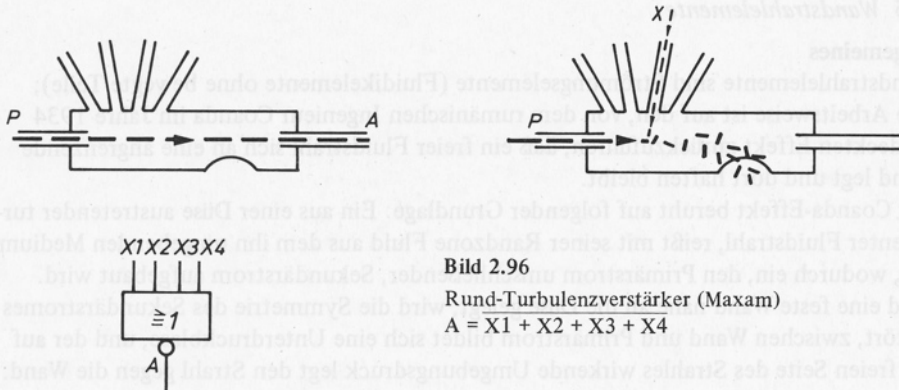


Bild 2.96

Rund-Turbulenzverstärker (Maxam)

$$A = X1 + X2 + X3 + X4$$

2.8.7.4 Turbulenzverstärker (Maxam-Pneumatik)

Turbulenzverstärker sind Strömungselemente (Fluidikelemente ohne bewegte Teile); sie arbeiten nach dem von Auger, Fluid Logic Control Systems, New York, 1962 erstmals angewandten System der Beeinflussung eines Fluidstrahles zwischen Strahl- und Fangdüse. Die Elemente sind an den Versorgungsdruck von $p_e = 0,012 \dots 0,03$ bar anzuschließen und haben einen dauernden Luftverbrauch von $10 \dots 15$ l/h (Normzustand). Der Mindestdruck zum Umsteuern des Turbulenzverstärkers liegt bei ca. 10 % des Versorgungsdruckes. Der Druck am Ausgang des Elementes ist 40 ... 70 % des Versorgungsdruckes. Mit einem Turbulenzverstärker können 3 bis 4 Turbulenzverstärker angesteuert werden.

Aufbau, Funktion, Sinnbild und Gleichung dieser Elemente ist aus Bild 2.96 zu sehen. Ein aus einer Düse austretender, freier, laminarer Fluidstrahl (Hauptstrahl) wird, nachdem er einen bestimmten Raum durchströmt hat, von einer koaxial angebrachten Fangdüse aufgenommen und in Staudruck umgewandelt. Wird die rechtwinkelig zum Hauptstrahl angebrachte Steuerdüse mit einem bestimmten Mindestdruck beaufschlagt, so schlägt der laminare Hauptstrahl in turbulente Strömung um, und das Ausgangssignal sinkt auf ein Minimum ab. Wird das Signal an der Steuerdüse gelöscht, baut sich der laminare Hauptstrahl wieder auf, und am Ausgang erscheint ein Signal.

Der Rund-Turbulenzverstärker eignet sich wegen seiner Form schlecht für die integrierte Bauweise; er wurde durch den Planarverstärker (Bild 2.97) ersetzt, der eine einfache und kompakte Montage und schlauchlose Verschaltung erlaubt. Der Turbulenzverstärker erfüllt nur die Funktion NOR.

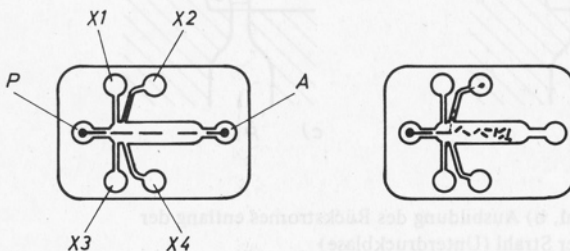


Bild 2.97

Planarverstärker

(Turbulenzverstärker, Maxam)

$$A = X1 + X2 + X3 + X4$$

2.8.7.5 Wandstrahlelemente

a) Allgemeines

Wandstrahlelemente sind Strömungselemente (Fluidikelemente ohne bewegte Teile); ihre Arbeitsweise ist auf den, von dem rumänischen Ingenieur Coanda im Jahre 1934 entdeckten Effekt zurückzuführen, daß ein freier Fluidstrahl sich an eine angrenzende Wand legt und dort haften bleibt.

Der Coanda-Effekt beruht auf folgender Grundlage: Ein aus einer Düse austretender turbulenter Fluidstrahl, reißt mit seiner Randzone Fluid aus dem ihn umgebenden Medium mit, wodurch ein, den Primärstrom umschließender, Sekundärstrom aufgebaut wird.

Wird eine feste Wand nahe an die Düse gelegt, wird die Symmetrie des Sekundärstromes gestört, zwischen Wand und Primärstrom bildet sich eine Unterdruckblase, und der auf der freien Seite des Strahles wirkende Umgebungsdruck legt den Strahl gegen die Wand. Das Anliegen des Strahles an die Wand kann aufgehoben werden, wenn durch eine Steueröffnung in der Wand eine Luftmenge in die Unterdruckblase eingegeben wird, oder wenn der Strahl durch eine Öffnung in der Wand die Luftmenge ansaugen kann, die zur Herstellung des Gleichgewichtes im Sekundärstrom notwendig ist (Bild 2.98).

b) Bistabile Elemente

Werden in einem Wandstrahl-Element die zwei Wände und die Steuerkanäle symmetrisch zur Düse angeordnet, so entsteht ein Element mit bistabilem Verhalten (Bild 2.99). Der Luftstrahl kann durch einen Impuls aus den sich räumlich gegenüberliegenden Steuerkanälen von einem Auslaß zu anderen geschaltet werden und bleibt auch nach dem Verschwinden des Steuersignales in der zuletzt eingenommenen Schaltstellung. Das Element erfüllt die Funktion eines Speichers.

Beim Aufbau von Steuerungen muß darauf geachtet werden, daß die Elemente beim Abschalten des Versorgungsdruckes die Speicherfunktion verlieren. Beim erneuten Einschalten der Betriebsluft nimmt das Element eine Schaltstellung ein, die nicht vorbestimmt werden kann. Eine bestimmte Ausgangsstellung (A oder B belüftet) muß durch Setzimpulse herbeigeführt werden.

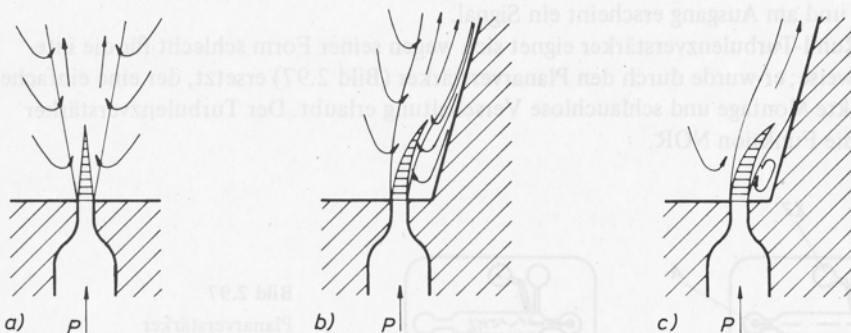


Bild 2.98 Coanda-Effekt

a) Frei austretender, turbulenter Fluidstrahl, b) Ausbildung des Rückstromes entlang der angelegten Wand, c) An der Wand haftender Strahl (Unterdruckblase)

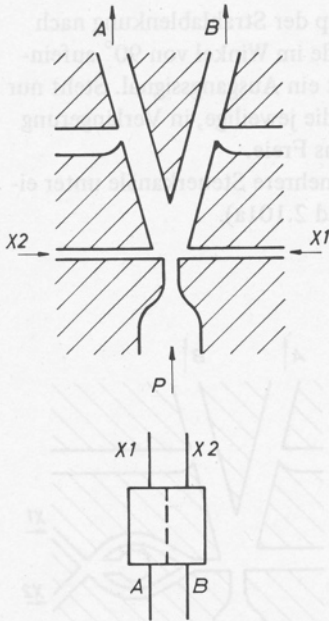


Bild 2.99 Bistabiles Wandstrahlelement (Speicher)

$$A = X1 \cdot \overline{X2} \quad B = X2 \cdot \overline{X1}$$

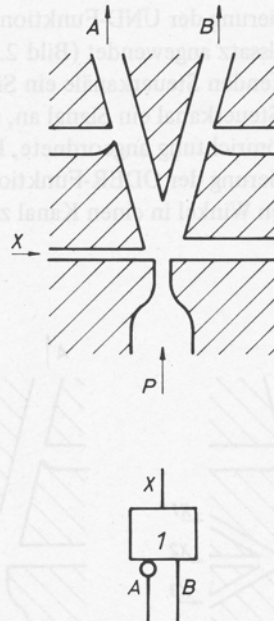


Bild 2.100 Unstabiles Wandstrahlelement

$$\text{Identität} \quad A = X1$$

$$\text{Negation} \quad B = \overline{A} = \overline{X1}$$

Steuer- und Ausla kanle sind über Ausgleichs ffnungen mit der Atmosphäre verbunden. Durch diese Ausgleichs ffnungen werden überflüssige Luftmengen abgeführt, um Druckr ckstau und damit verbundenes undefiniertes Verhalten des gesteuerten Luftstrahles zu vermeiden.

c) Unstabile Elemente

Der Aufbau der uninstabilen Elemente unterscheidet sich von dem der bistabilen Elemente dadurch, daß einer der beiden Steuerkanäle vergrößert ist, wodurch erreicht wird, daß das Element nur eine stabile Schaltstellung aufweist, wenn am Steueranschluß X kein Signal vorhanden ist (Bild 2.100).

Durch ein Signal am Steueranschluß X wird das Ausgangssignal vom Anschluß A zum Anschluß B umgeschaltet. Nach dem Verschwinden des Signales bei X geht auch das Ausgangssignal wieder in seine Ausgangslage zurück, das Ausgangssignal liegt wieder auf Anschluß A. Mit diesem Gerät können die Funktionen Identität und Negation erfüllt werden.

d) Elemente mit passiven Vorsteuerstufen

Die Schaltkapazität der Wandstrahl-Elemente kann durch Vorschalten von passiven Steuerstufen erheblich erweitert werden. Wie in Bild 2.101 dargestellt, kann je nach Ausbildung der Steuerkanäle die ODER-, UND- oder Äquivalenz und Antivalenz Funktion erfüllt werden.

Zur Realisierung der UND-Funktion wird dabei das Prinzip der Strahlablenkung nach dem Impulssatz angewendet (Bild 2.101b). Nur wenn beide im Winkel von 90° aufeinander treffenden Steuerkanäle ein Signal führen, erscheint ein Ausgangssignal. Steht nur an einem Steuerkanal ein Signal an, strömt die Luft über die jeweilige, in Verlängerung der Einströmrichtung angeordnete, Entlüftungsbohrung ins Freie.

Zur Realisierung der ODER-Funktion werden zwei oder mehrere Steuerkanäle unter einem spitzen Winkel in einen Kanal zusammengeführt (Bild 2.101a).

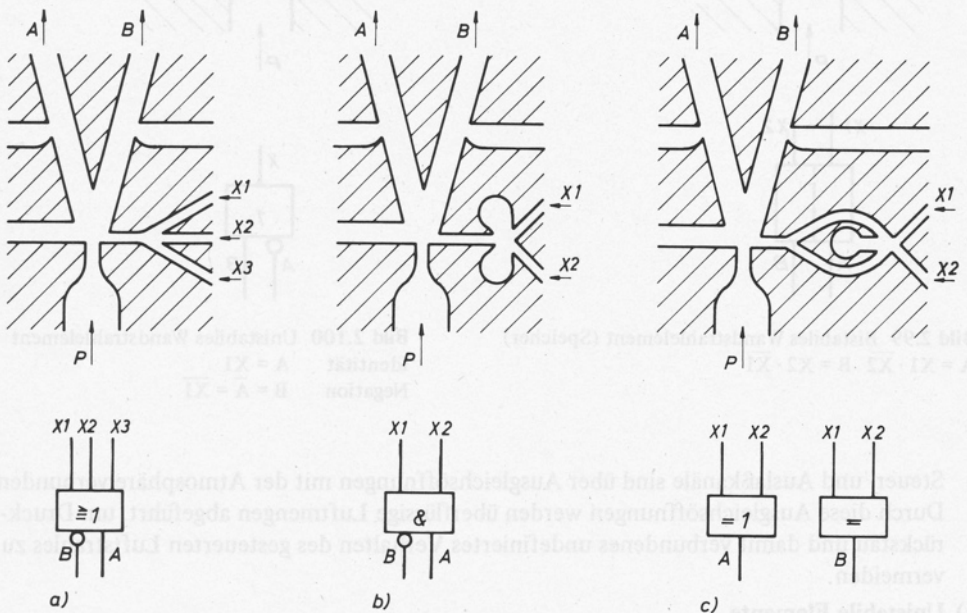


Bild 2.101 Wandstrahlelemente mit passiven Vorsteuerstufen

- a) ODER-Funktion $A = X_1 + X_2 + X_3$
 b) UND-Funktion $A = X_1 \cdot X_2$
 c) Antivalenz $A = X_1 \cdot \overline{X_2} + \overline{X_1} \cdot X_2$
 Äquivalenz $B = X_1 \cdot X_2 + \overline{X_1} \cdot \overline{X_2}$

2.8.8 Fluidik-Sensoren

2.8.8.1 Allgemeines

Fluidik-Sensoren sind Geräte ohne bewegte Teile. Sie dienen zur Erfassung des Abstandes zwischen Sensor und Objekt, wobei das Ausgangssignal des Sensors, ein aus der Düse austretender freier Fluidstrahl, durch ein Objekt (Werkstück, Werkzeug, Maschinenteil) abgelenkt oder gestaut wird und dadurch ein Signal erzeugt, das in Fluidik-Elementen oder

direkt in Verstärkern weiterverarbeitet werden kann. Am einfachsten wird ein Sensorsignal in einem mechanischen Fluidik-Element verarbeitet, da in den durch Kolben oder Membranen verschlossenen Steuerkammern der statische Druck maximal genutzt werden kann. Die Verarbeitung von Sensor-Signalen in Wandstrahl-Elementen wird, bedingt durch die Notwendigkeit eines bestimmten Volumenstromes am Signaleingang des Wandstrahl-Elementes, kompliziert.

Fluidik-Sensoren sind Strömungselemente; sie verbrauchen dauernd Luft und können, da sie sich selbst reinigen, auch bei großem Schmutzanfall eingesetzt werden.

2.8.8.2 Rückstau-Sensoren

Dieses System ist unter der Bezeichnung „Düse-Prallplatte“ schon lange bekannt und wird in der Längenmeßtechnik (siehe Abschnitt 2.13.3) verwendet.

Wird die vom Versorgungsanschluß P über die Düse zum Auslaß strömende Luft durch einen Gegenstand am freien Ausströmen verhindert, baut sich am Anschluß X ein Signal auf, dessen Druck in direktem Verhältnis zum Abstand Sensor-Prallplatte steht und bei verschlossenem Auslaß bis zum Versorgungsdruck ansteigen kann. Als Signalglied wird der Rückstau-Sensor meist in Festanschläge eingebaut. Wirkungsschema und Sinnbild sind in Bild 2.102 dargestellt.

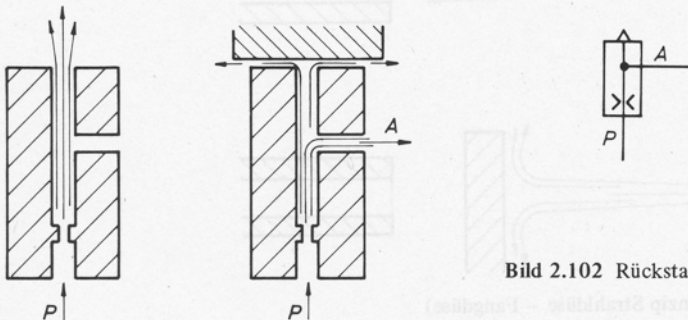


Bild 2.102 Rückstau-Sensor

2.8.8.3 Ringstrahl-Sensoren

Der Ringstrahl-Sensor eignet sich zum berührungslosen Abtasten von Gegenständen im Abstand bis zu 15 mm. Aufbau und Arbeitsweise sind nach Bild 2.103 wie folgt zu erklären:

Die am Versorgungsanschluß P anstehende Druckluft strömt über die Ringdüse ins Freie, wobei sie infolge des Strahlausgleichs-Effektes im Inneren des Ringstrahles und im Kanal zum Signalanschluß X Unterdruck bildet. Bei der Annäherung eines Gegenstandes an den Sensor wird ab einem gewissen Abstand der Ringstrahl abgelenkt und ruft im Bereich der Bohrung zum Anschluß X Druckanstieg hervor. Das Ausgangssignal steigt mit abnehmenden Gegenstandsabstand an, weist aber keinen linearen Verlauf auf.

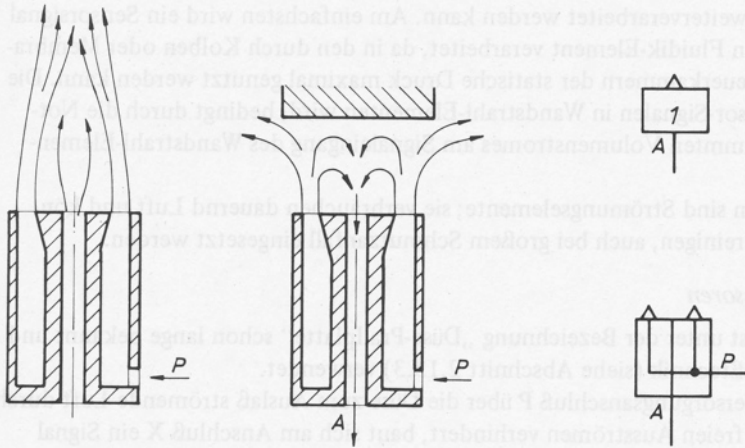


Bild 2.103 Ringstrahl-Sensor

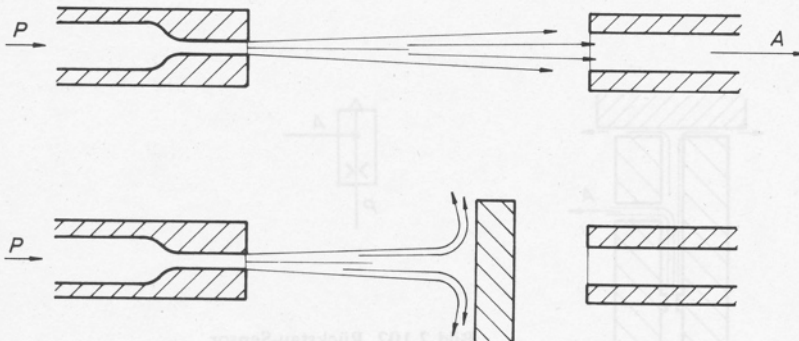


Bild 2.104 Strahlschranke (Prinzip Strahldüse – Fangdüse)

2.8.8.4 Strahlschranken

Strahlschranken arbeiten nach dem System „Strahldüse-Fangdüse“ (Bild 2.104). Der aus der Strahldüse austretende Fluidstrahl kann, wenn er von keinem Gegenstand unterbrochen wird, in der Fangdüse aufgenommen und als Druck oder Massenstrom in einem Fluidik-Element weiterverarbeitet werden. Der Nachteil dieser Strahlschranken besteht darin, daß die vom Strahl angesaugte, verschmutzte Umgebungsluft die Fangdüse zuwachsen läßt.

Aus diesem Grund wurde das in Bild 2.105 dargestellte Prinzip der selbstreinigenden Strahlschranke entwickelt (Gegenstrahl-Prinzip). Aus zwei fluchtend angeordneten Düsen treffen zwei Fluidstrahlen so aufeinander, daß sich vor der Mündung der Gegenstrahl-Düse, hinter der das Ausgangssignal abgenommen wird, ein Staudruck bildet, der das freie Aus-

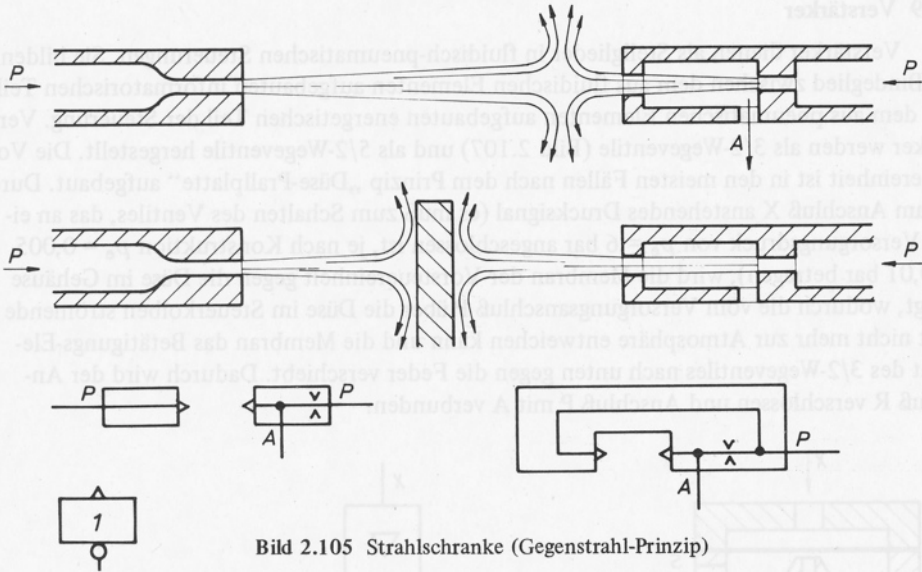


Bild 2.105 Strahlschranke (Gegenstrahl-Prinzip)

strömen des Fluid aus dieser Düse verhindert und am Anschluß X ein Signal erscheinen läßt. Wird zwischen die beiden Düsen ein Gegenstand gebracht, kann das Fluid aus der Gegenstrahldüse frei austreten und am Anschluß X verschwindet das Signal.

Bei dieser Anordnung kann keine Umgebungsluft, und damit auch kein Schmutz in die Kanäle der Düsen eindringen. Mit den Strahlschranken können Abstände bis zu 100 mm überbrückt werden.

2.8.8.5 Zylinderschalter

Zylinderschalter sind Signalglieder, die eine berührungslose Stellungsanzeige an Zylindern ermöglichen. Sie arbeiten nach dem in Abschnitt 2.8.8.2 beschriebenen System „Düse-Prallplatte“ (Bild 2.106). Die Prallplatte der Rückstaudüse im Zylinderschalter ist eine Stahl-Blattfeder, die ein im Kolben des Zylinders eingebauter Ringmagnet (Dauermagnet) auslenkt, wodurch die Verbindung vom Versorgungsanschluß P zur Entlüftung R unterbrochen wird, und am Anschluß ein Signal erscheint, das in Fluidik-Elementen weiter verarbeitet werden kann.

Einbausituation: siehe Abschnitt 2.9.2.5 Zylinder mit berührungsloser Signalgabe.

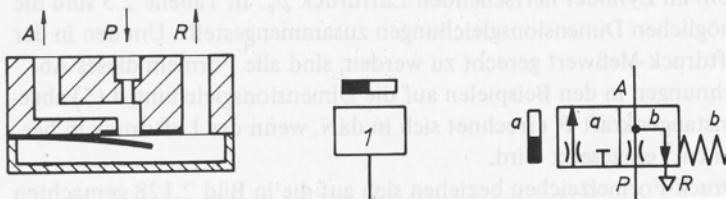


Bild 2.106 Zylinderschalter

2.8.9 Verstärker

Verstärker dienen als Stellglieder in fluidisch-pneumatischen Steuerungen. Sie bilden das Bindeglied zwischen dem aus fluidischen Elementen aufgebauten informatischen Teil und dem aus pneumatischen Elementen aufgebauten energetischen Teil der Steuerung. Verstärker werden als 3/2-Wegeventile (Bild 2.107) und als 5/2-Wegeventile hergestellt. Die Vorsteuereinheit ist in den meisten Fällen nach dem Prinzip „Düse-Prallplatte“ aufgebaut. Durch ein am Anschluß X anstehendes Drucksignal (es muß zum Schalten des Ventiles, das an einen Versorgungsdruck von $p_e = 6$ bar angeschlossen ist, je nach Konstruktion $p_e = 0,005 \dots 0,01$ bar betragen), wird die Membran der Vorsteuereinheit gegen die Düse im Gehäuse gelegt, wodurch die vom Versorgungsanschluß P über die Düse im Steuerkolben strömende Luft nicht mehr zur Atmosphäre entweichen kann und die Membran das Betätigungs-Element des 3/2-Wegeventiles nach unten gegen die Feder verschiebt. Dadurch wird der Anschluß R verschlossen und Anschluß P mit A verbunden.

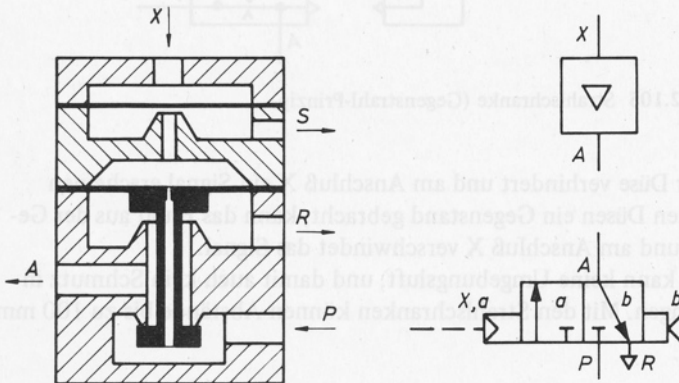


Bild 2.107 Verstärker

2.9 Antriebsglieder

2.9.1 Allgemeines

Antriebsglieder dienen zur Umformung der pneumatischen Energie in mechanische Energie.

Die pneumatische Energie wird mit Druckluftzylinder in geradlinig hin- und hergehende Bewegung und mit Druckluftmotoren in drehende Bewegung umgewandelt.

Die von der Kolbenstange eines Zylinders ausgeübte Kraft F berechnet sich aus der Kolbenfläche A und dem im Zylinder herrschenden Luftdruck p_e . In Tabelle 2.3 sind die für diese Berechnung möglichen Dimensionsgleichungen zusammengestellt. Um den in der Praxis verwendeten Luftdruck-Meßwert gerecht zu werden, sind alle Formeln dieses Abschnittes und die Berechnungen in den Beispielen auf die Dimensionsgleichung 4 (5) abgestimmt, d.h. die Kolbenstangenkraft F errechnet sich in daN, wenn der Luftdruck in bar und die Kolbenfläche in cm^2 eingesetzt wird.

Die Indizes der Druck-Formelzeichen beziehen sich auf die in Bild 2.128 gemachten Angaben.

Tabelle 2.3 Dimensionsgleichung zur Kolbenstangenkraftberechnung

	Druck $\times$ Fläche = Kraft		
	p_e	$\times$ A	= F
1	Pa	m^2	N
2	$\frac{N}{m^2}$	m^2	N
3	$\frac{kg \cdot m}{s^2 m^2}$	m^2	$\frac{kg \cdot m}{s^2}$
4	bar	cm^2	da N
5	10^5 Pa	$10^{-4} m^2$	10 N

2.9.2 Zylinder

2.9.2.1 Einfachwirkende Zylinder

Bei einfachwirkenden Zylindern wird der Kolben nur von einer Seite mit Druckluft beaufschlagt, der Zylinder leistet nur in einer Richtung Arbeit. Der Rücklauf der Kolbenstange erfolgt entweder durch Krafteinwirkung von außen (z.B. durch das Eigengewicht der Baueinheit bei senkrechter Anordnung des Zylinders), oder durch die Kraft einer in den Zylinder eingebauten Spiralfeder (Bild 2.108). Bedingt durch die eingebaute Feder ist der Hub dieser Zylinder auf maximal 100 mm begrenzt. Die von einem einfachwirkenden Zylinder mit eingebauter Rückstellfeder tatsächlich ausgeübte Kraft errechnet sich aus der Formel

$$F_Z = A \cdot p_e - F_R - F_F \quad (2.1)$$

 F_Z Kraft an der Kolbenstange in daN
$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \text{Kolbenfläche} \quad \text{in cm}^2$$

D Zylinderdurchmesser in cm

p_e tatsächlicher Luftdruck im Zylinder in bar

F_R Reibungswiderstand, ist abhängig vom Dichtungselement (O-Ring, Nutring oder Topfmanchette; siehe Abschnitt 2.9.2.11 von der Oberflächengüte der Zylinderwandung, vom Luftdruck, von der Bewegungsgeschwindigkeit und der Schmierung. Bei normalen Betriebsverhältnissen ist $F_R \approx 0,15 \cdot A \cdot p$

F_F Kraft der Rückstellfeder; sie ist, wie aus dem Kraft-Weg-Diagramm in Bild 2.108 hervorgeht je nach Kolbenstangenhub verschieden.

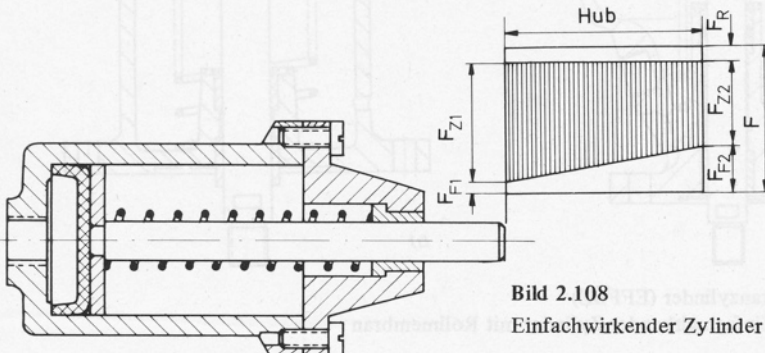


Bild 2.108

Einfachwirkender Zylinder mit Rückholfeder

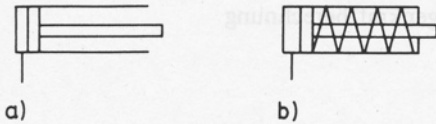


Bild 2.109 Sinnbild für einfachwirkenden Zylinder

a) Rückbewegung durch äußere Kraft,

b) Rückbewegung durch eingebaute Feder

Um die Arbeitskraft des Zylinders nicht zu schwächen, ist die Kraft der Rückstellfeder klein gehalten. Sie ist daher nur für den unbelasteten Rücklauf der Kolbenstange ausgelegt.

Der Luftverbrauch eines einfachwirkenden Zylinders ist nur halb so groß wie der eines doppeltwirkenden Zylinders mit gleicher Hublänge und gleichem Durchmesser.

Einfachwirkende Zylinder eignen sich zum Richten, Spannen und Ausstoßen von Werkstücken. Sinnbilder für einfachwirkende Zylinder siehe Bild 2.109.

2.9.2.2 Membranzylinder

Membranzylinder werden meist als einfachwirkende Zylinder gebaut und sind unter dem Begriff Druckdosen bekannt (Bild 2.110a). Die Dichtung in dem beweglichen Kolben wird durch eine elastische Membran ersetzt, deren äußerer Rand mit dem Zylinder und deren innerer Teil mit der beweglichen Kolbenstange verbunden ist. Zwangsläufig ergeben sich aus dieser Konstruktion nur geringe Hübe. Die Konstruktion eines einfachwirkenden Zylinders mit einer Rollmembran ist in Bild 2.110b dargestellt. Rollmembranen sind für Zylinder-Durchmesser von 25 bis 200 mm und Hublängen von 5 bis 100 mm erhältlich. Da durch die Rollenmembran die ungünstigen Reibungskräfte beim Übergang vom Zustand der Ruhe in den der Bewegung entfallen, eignet sie sich besonders für Regel- und Stellzylinder. Für Membranzylinder sind die Sinnbilder für einfachwirkende Zylinder (Bild 2.109) zu verwenden.

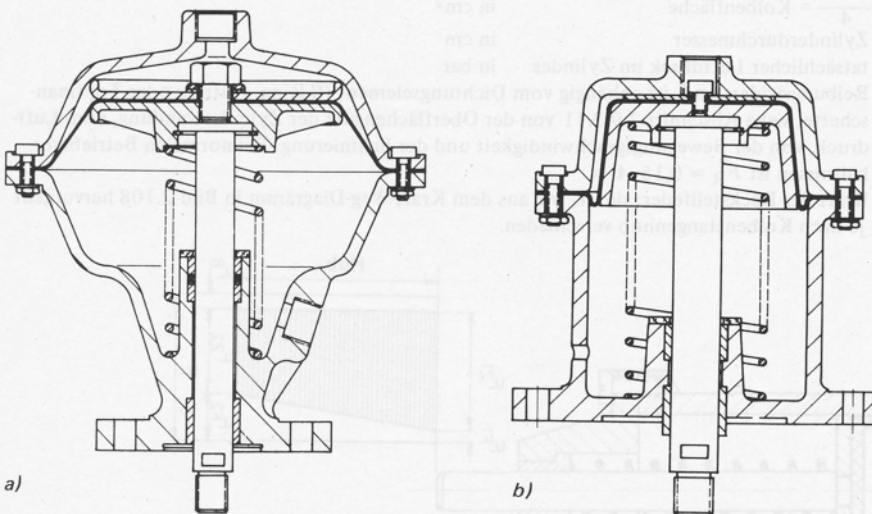


Bild 2.110 Membranzylinder (EFFBE)

a) Druckdose, b) Einfachwirkender Zylinder mit Rollmembran

2.9.2.3 Doppeltwirkende Zylinder

Bei doppeltwirkenden Zylindern können beide Seiten wechselweise mit Druckluft beaufschlagt werden. Diese Zylinder leisten in beiden Bewegungsrichtungen Arbeit, es ist jedoch zu beachten, daß die Rückzugkraft geringer als die Vorschubkraft ist. Beim Ausfahren der Kolbenstange wird die volle Kolbenfläche von der Druckluft beaufschlagt, beim Einfahren der Kolbenstange kann nur die Ringfläche (siehe Bild 2.111) beaufschlagt werden. Wegen der unterschiedlichen Kräfte beim Ausfahren und Einfahren der Kolbenstange werden diese Zylinder auch Differentialzylinder genannt. Ein Differentialzylinder kann wie ein einfachwirkender Zylinder gesteuert werden, wenn die Kolbenringfläche durch eine verstärkte Kolbenstange derart verkleinert wird, daß die Rückzugkraft der Kraft der Rückstellfeder eines gleichgroßen einfachwirkenden Zylinders entspricht. Der deckelseitige Anschluß bleibt dann dauernd mit dem Druckluftnetz verbunden. Die Hublänge ist bei doppeltwirkenden Zylindern unbegrenzt, es muß jedoch die zulässige Knickbelastung der Kolbenstange berücksichtigt werden (siehe Tabelle 2.3).

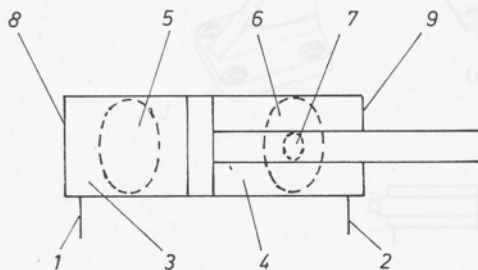


Bild 2.111

Bezeichnungen an doppeltwirkenden Zylindern

- 1 Bodenanschluß, 2 Deckelanschluß,
- 3 Bodenseite, 4 Deckelseite, 5 Kolbenfläche, 6 Ringfläche, 7 Stangenfläche,
- 8 Boden, 9 Deckel

Doppeltwirkende Zylinder werden serienmäßig als Grundtypen hergestellt (Bild 2.112), die durch das Anbringen von Befestigungselementen den erforderlichen Betriebsverhältnissen angepaßt werden können (Bild 2.113).

Die Sinnbilder für doppeltwirkende Zylinder beziehen sich nur auf die Funktion, nicht auf die Bauart des Zylinders (Bild 2.114).

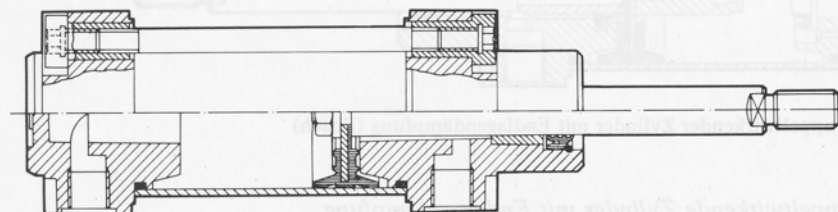


Bild 2.112 Doppeltwirkender Zylinder (Bosch)

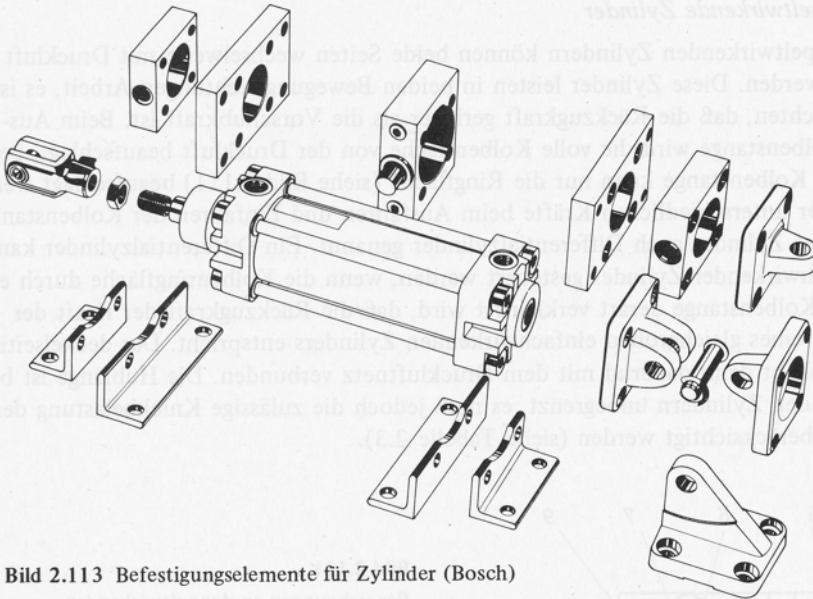


Bild 2.113 Befestigungselemente für Zylinder (Bosch)

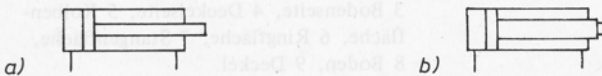


Bild 2.114 Sinnbild für doppeltwirkenden Zylinder

a) Normalausführung, b) Differentialzylinder (wenn auf die Differentialwirkung besonders hingewiesen werden soll)

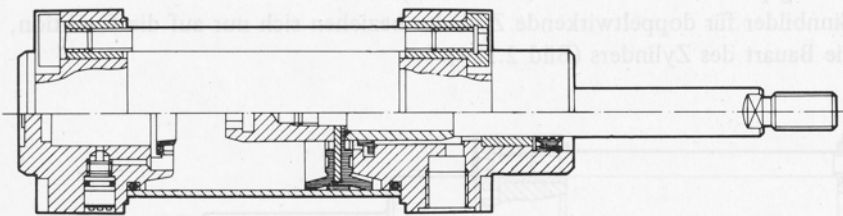


Bild 2.115 Doppeltwirkender Zylinder mit Endlagendämpfung (Bosch)

2.9.2.4 Doppeltwirkende Zylinder mit Endlagendämpfung

Werden mit einem Zylinder große Massen bewegt, so verwendet man, um ein hartes Anschlagen in den Endlagen zu verhindern, Zylinder mit Endlagendämpfung (Bild 2.115). Ein kleiner Kolben versperrt vor Hubende der aus dem Zylinder entweichenden Luft den direkten Weg ins Freie. Die zwischen Zylinderdeckel und Kolben (oder Zylinderboden



Bild 2.116 Sinnbild für doppeltwirkenden Zylinder mit Endlagendämpfung

a) Dämpfung beidseitig verstellbar, b) Dämpfung auf der Bodenseite, nicht verstellbar

und Kolben) verbleibende Luft wird verdichtet und kann nur durch eine Drosselbohrung entweichen. Eine vollkommene Dämpfung ist nur dann möglich, wenn die Verdichtungsarbeit größer ist als die kinetische Energie der bewegten Massen. Sinnbilder für doppeltwirkende Zylinder mit Endlagendämpfung sind in Bild 2.116 dargestellt.

2.9.2.5 Zylinder mit berührungsloser Signalgabe

Bei Vorrichtungen oder Maschinen, die wegababhängig gesteuert werden, bereitet die Anbringung der Signalglieder an den Baueinheiten oder Antriebsgliedern oft erhebliche Schwierigkeiten. Im Arbeitsbereich stören Späne und Kühlmittel, oder bei gedrängter Bauweise, meist durch Form und Bearbeitung des Werkstückes gegeben, können Signalglieder und Betätigungsnocken nur mit hohem Aufwand angebracht werden. Mit Zylindern für berührungslose Signalgabe ist dieses Problem gelöst.

In den Kolben dieser Zylinder ist ein Ringmagnet (Dauermagnet) eingearbeitet, der mit seinem Magnetfeld den an einem Zuganker oder mit einem Spannband am Zylinderrohr befestigten Zylinderschalter betätigt (Bild 2.117).

Zylinderschalter werden, wie in Abschnitt 2.8.8.5 beschrieben, für Fluidik-Steuerungen als Magnetfeldschalter (Reed-Schalter) hergestellt.

2.9.2.6 Zylinder mit durchgehender Kolbenstange

Zylinder mit großen Hübten werden meist mit beidseitiger Kolbenstange ausgeführt. Die Führung der Kolbenstange wird dadurch verbessert und das zweite, freie Kolbenstangenende eignet sich zur Betätigung von Signalgliedern. Die Kraft dieser Zylinder ist in beiden Bewegungsrichtungen gleich groß.

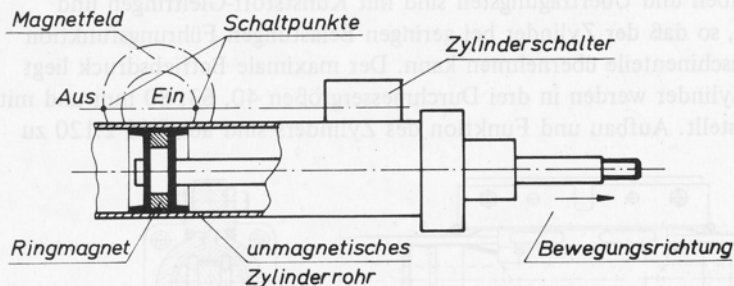


Bild 2.117 Zylinder mit berührungsloser Signalgabe

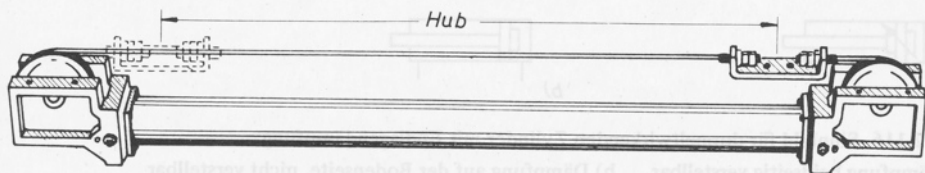


Bild 2.118 Kabelzylinder (Polack)

Als Zylinder mit beidseitiger Kolbenstange können auch die Kabelzylinder bezeichnet werden (Bild 2.118). Diese Zylinder haben an Stelle der Kolbenstange ein nylonverkleidetes Stahlkabel, welches, über in den Zylinderköpfen gelagerte Rollen, umgelenkt wird. Die zwei freien Enden des durch den Zylinder führenden und am Kolben befestigten Stahlkabels, werden durch eine Brücke verbunden. Auf dieser Brücke können die zu bewegendenden Teile der Baueinheit befestigt werden. Kabelzylinder eignen sich besonders für große Hübe (nach Angabe des Herstellers bis 12 m), da die Einbaulänge nur geringfügig größer als die Hublänge ist. Auch bei sehr großen Hüben ist keine zusätzliche Führung der Kolbenstange notwendig. Die Sinnbilder für doppeltwirkende Zylinder mit durchgehender Kolbenstange sind in Bild 2.119 dargestellt.

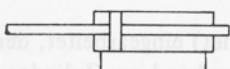


Bild 2.119

Sinnbild für doppeltwirkenden Zylinder mit durchgehender Kolbenstange

2.9.2.7 Zylinder ohne Kolbenstange

Bei diesen Zylindern wird die Bewegung des Kolbens direkt nach Außen (ohne Kolbenstange) durch das geschlitzte Zylinderrohr übertragen. Zur Abdichtung des Schlitzes im Zylinderrohr ist ein Stahlband von innen an den Schlitz gelegt, das nach dem 1. Dicht-ring des Kolbens vom Zylinderrohr abgehoben, durch eine Längsöffnung zwischen Kolben und Übertragungsteil durchgeführt und vor dem 2. Dichtring des Kolbens wieder an das Zylinderrohr angelegt wird. Ein zweites Band, das keine Dichtfunktion übernimmt, liegt außen auf dem Schlitz des Zylinderrohres und soll das Eindringen von Verunreinigungen verhindern. Beide Bänder werden durch in das Rohr eingesetzte Permanentmagnete in ihrer Lage gehalten. Kolben und Übertragungsteil sind mit Kunststoff-Gleitringen und -Gleitflächen versehen, so daß der Zylinder bei geringen Belastungen Führungsfunktion der angeflanschten Maschinenteile übernehmen kann. Der maximale Betriebsdruck liegt bei $p_e = 8$ bar. Die Zylinder werden in drei Durchmessergrößen 40, 63, 80 mm und mit Längen bis 7 m hergestellt. Aufbau und Funktion des Zylinders sind aus Bild 2.120 zu ersehen.

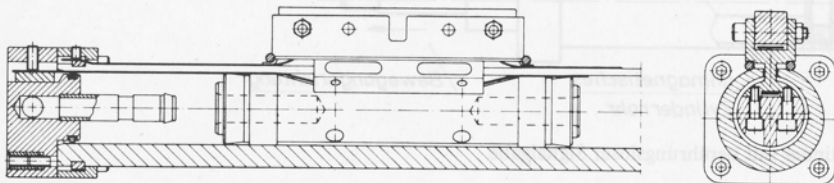


Bild 2.120 Zylinder ohne Kolbenstange (Origa)

2.9.2.8 Mehrstellungszyylinder

Sind durch einen pneumatischen Antrieb mehr als zwei feste Stellungen anzufahren, so kann dies dadurch erreicht werden, daß 2 doppeltwirkende Zylinder, wie in Bild 2.121 dargestellt, verschraubt werden. Zwei Zylinder mit gleichgroßen Hüben ermöglichen das Anfahren von 3 festen Stellungen (Bild 2.121a).

Zwei Zylinder mit verschiedenen Hüben (Bild 2.121b) ermöglichen das Anfahren von 4 festen Stellungen, wenn die Zylinderanschlüsse 1 bis 4 entsprechend Bild 2.121c belüftet bzw. entlüftet werden. (Diese Sinnbilder sind nicht nach Norm.)

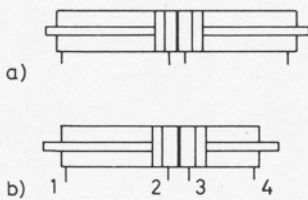


Bild 2.121 Mehrstellungszyylinder

Anschlüsse		1	2	3	4
Stellungen	1	+	-	-	+
	2	+	-	+	-
	3	-	+	-	+
	4	-	+	+	-

c) + belüftet
- entlüftet

2.9.2.9 Tandemzylinder

Wenn durch die Konstruktion der Vorrichtung oder der Maschine bedingt, der Durchmesser eines Zylinders begrenzt ist, und die notwendige Kraft mit diesem Zylinderdurchmesser nicht erreicht werden kann, können zwei Zylinder so hintereinander gekoppelt werden, daß 2 doppelseitig beaufschlagte Kolben auf einer Kolbenstange montiert sind (Bild 2.122). (Dieses Sinnbild ist nicht nach Norm.)

Die an der Kolbenstange zur Verfügung stehende Kraft wird durch diese Anordnung gegenüber dem normalen Zylinder mit gleichem Durchmesser etwa verdoppelt. Wenn beim Einfahren der Kolbenstange eine geringere Kraft benötigt wird, kann, um Luft zu sparen, nur eine Kolbenringfläche beaufschlagt werden, der Deckelanschluß des zweiten Zylinders bleibt dann mit der Atmosphäre verbunden.

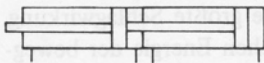


Bild 2.122 Sinnbild für Tandemzylinder

2.9.2.10 Schlagzylinder

Der Aufbau eines Schlagzylinders ist aus Bild 2.123 zu ersehen. Die Wirkungsweise des Zylinders beruht darauf, daß durch die Betätigung des Stellgliedes die Bodenseite belüftet und die Deckelseite entlüftet wird. Die Bodenseite ist gegen den Kolben durch einen Zwischendeckel abgeschildert, so daß nur ca. 15 % der Kolbenfläche mit Druckluft beaufschlagt werden können.

2.9.2.11 Zylinder für pneumatisch-hydraulische Beaufschlagung

Wird die Kolbenstange eines doppeltwirkenden Zylinders hydraulisch ausgefahren und pneumatisch eingezogen, d.h. Bodenseite und Deckelseite des Zylinders werden von verschiedenen Medien beaufschlagt, so ist der Raum zwischen den beiden Kolbendichtungen zu entlüften (Bild 2.125) um ein Vermischen der beiden Betriebsmittel zu vermeiden.

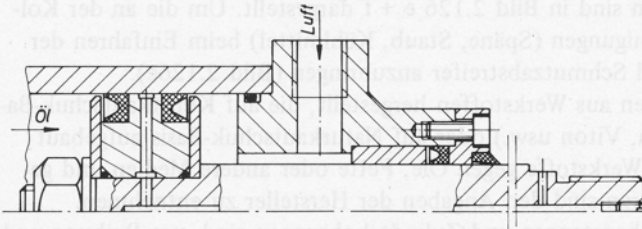


Bild 2.125 Doppeltwirkender Zylinder für pneumatisch-hydraulische Beaufschlagung

2.9.2.12 Hinweise für die Anfertigung von Druckluft-Zylindern

Es ist in jedem Fall zu empfehlen, serienmäßig hergestellte Druckluftzylinder zu verwenden. Manchmal ist der Konstrukteur jedoch gezwungen, um ein Problem lösen zu können, Druckluftzylinder direkt in den Vorrichtungskörper einzubauen.

Für diese Fälle stehen die in Bild 2.126 dargestellten Dichtungs-elemente zur Verfügung:

Der O-Ring (Bild 2.126a) eignet sich für Druckluftzylinder nur bedingt. Da durch die Einwirkung der Druckluft keine Deformation des O-Ringes eintritt, muß er, um auch bei höheren Drücken noch dicht zu sein mit Vorspannung eingebaut werden. Die Reibungskräfte der Kolben mit O-Ringen sind daher größer als bei Kolben mit Nutringen (Bild 2.126b) oder Topfmanschetten (Bild 2.126c). Die Doppeltopfmanschette (Bild

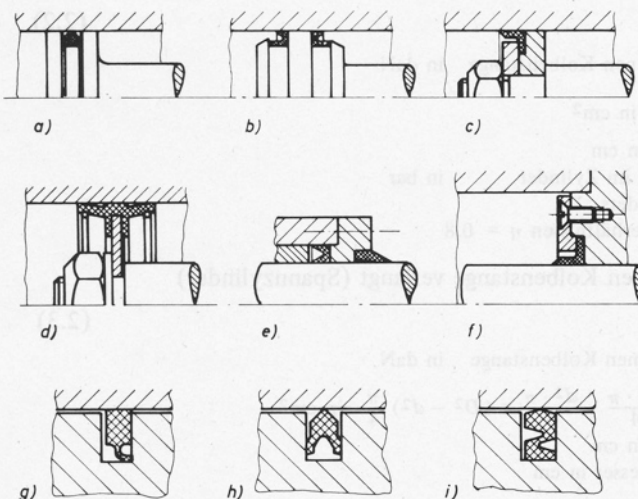


Bild 2.126

Dichteelemente

- a) O-Ring
- b) Nutring
- c) Topfmanschette
- d) Doppeltopfmanschette
- e) Nutring
Schmutzabstreifer
- f) Hutmanschette
- g) Pneuko-Dichtung
(Freudenberg)
- h) K-Ring (Knorr)
- i) Airzet-Dichtung (Merkel)

2.126d) erspart dem Konstrukteur und der Werkstatt Arbeit, sie kann fertig bezogen werden und ist nur auf die vorbereitete Kolbenstange zu montieren.

Um die Losbrechkraft (das ist die Kraft, die notwendig ist, um den Kolben aus der Ruhelage zu bewegen) möglichst klein zu halten, können an Stelle der oben beschriebenen Dichtungselemente die reibungsarmen Kolbendichtungen nach Bild 2.126g, h, i eingebaut werden.

Kolbenstangendichtungen sind in Bild 2.126 e + f dargestellt. Um die an der Kolbenstange haftenden Verunreinigungen (Späne, Staub, Kühlmittel) beim Einfahren der Kolbenstange abzustreifen sind Schmutzabstreifer anzubringen (Bild 2.126e).

Die Dichtelemente werden aus Werkstoffen hergestellt, die auf Kunstkautschuk-Basis (Perbunan, Neoprene, Buna, Viton usw.) oder auf Naturkautschuk-Basis aufgebaut sind. Die Beständigkeit dieser Werkstoffe gegen Öle, Fette oder andere Medien und gegen hohe und tiefe Temperaturen sind den Angaben der Hersteller zu entnehmen.

Die Oberflächen der Kolbenstangen und Zylinderbohrungen sind, um Reibung und Verschleiß gering zu halten, mit einer Rauheit von $1 \dots 2 \mu\text{m}$ auszuführen. Bereits bei der Montage sind die Dichtungen und die Gleitflächen, um trockenlaufen zu vermeiden, mit einem Bleiseifenfett zu schmieren.

Bei normalen Betriebsverhältnissen ist es nicht notwendig, die Zylinderoberflächen hart zu verchromen. Die Kolbenstangen sind möglichst immer aus rostfreiem Stahl herzustellen und auf Knickung zu berechnen, wenn die Belastung auf Druck erfolgt (Tabelle 2.4).

2.9.2.13 Berechnung doppeltwirkender Zylinder

a) Kolbenstangen-Kraft

Bei der Berechnung doppeltwirkender Zylinder ist zu berücksichtigen, welche Forderungen an die Kolbenstangen-Kraft und an den Bewegungsablauf der Kolbenstange gestellt werden.

- Kraft wird an der ausgefahrenen Kolbenstange verlangt (Spannzylinder)

$$F_A = A_1 \cdot p_{e,2} \cdot \eta \quad (2.2)$$

F_A Kraft an der ausgefahrenen Kolbenstange in daN

A_1 Kolbenfläche = $\frac{D^2 \cdot \pi}{4}$ in cm^2

D Zylinder Durchmesser in cm

$p_{e,2}$ tatsächlicher Luftdruck im Zylinder in bar

η Wirkungsgrad des Zylinders

Bei normalen Betriebsverhältnissen $\eta = 0,8$

- Kraft wird an der eingefahrenen Kolbenstange verlangt (Spannzylinder)

$$F_E = A_2 \cdot p_{e,2} \cdot \eta \quad (2.3)$$

F_E Kraft an der eingefahrenen Kolbenstange in daN

A_2 Kolbenringfläche = $\frac{D^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4}$ in cm^2

D Zylinder Durchmesser in cm

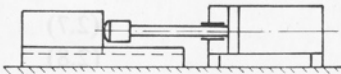
d Kolbenstangen Durchmesser in cm

p und η wie Gleichung 2.2

Tabelle 2.4 Zulässige Kolbenstangenkraft bei Druckbelastung gegen Ausknicken bei 5-facher Sicherheit

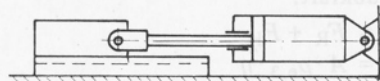
Kolbenstangen ϕ in mm	Hub in mm								Kolbenstangenkraft F_1 in daN Belastungsfall 1
	200	250	320	400	500	630	800	1000	
10	127	81	49	32	20	12	8	5	
12	345	220	135	86	55	35	21	14	
14	490	310	190	122	78	49	31	19	
16	830	530	325	210	133	84	52	33	
18	1290	825	500	320	206	130	82	52	
20	2030	1300	800	510	325	205	127	81	
22	2980	1900	1160	750	480	300	185	120	
25		3170	1930	1240	790	500	310	198	
28			3050	1950	1250	790	490	310	
32				3300	2130	1340	830	530	
36					3440	2160	1340	860	
40						3280	2030	1300	

Belastungsfall 1



Ein Stangenende eingespannt,
das andere frei beweglich
zul. Belastung = F_1

Belastungsfall 2



Ein Stangenende eingespannt,
das andere in Richtung der
Stangenachse gelenkig geführt
zul. Belastung $F_2 = 4 F_1$

- Wird an der Pleuelstange während der Bewegung Kraft verlangt, so sind die Bewegungswiderstände je nach Einbaulage des Zylinders wie folgt zu berechnen (siehe dazu Bild 2.127):

$$\text{Reibkraft} \quad F_R = m \cdot g \cdot \mu \cdot \cos \alpha \cdot 10 \quad (2.4)$$

$$\text{Hubkraft} \quad F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot 10 \quad (2.5)$$

$$\text{Beschleunigungskraft} \quad F_B = m \cdot a \cdot 10 \quad (2.6)$$

m zu bewegendes Masse in kg

g Fallbeschleunigung = $9,81 \text{ m/s}^2$

μ Reibungszahl dimensionslos

α Einbauwinkel gegen Waagerechte in Grad

a Beschleunigung = $\frac{w^2}{2 \cdot s}$ in m/s^2

w Pleuelstangen-Geschwindigkeit in m/s

s Beschleunigungs-Weg in m

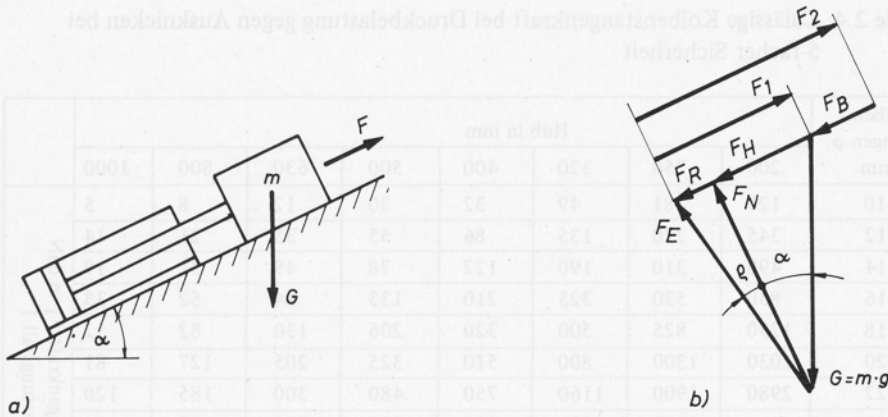


Bild 2.127 Berechnung der Kolbenstangen-Kraft a) Lageskizze, b) Kräfteckschizze

- Die Kolbenstange hat während des Hubes Kraft aufzubringen, an die Kolbenstangen-Geschwindigkeit sind keine besonderen Anforderungen gestellt.

Die Kolbenstangen-Kraft muß gleich oder größer sein als die Summe aus Reibkraft und Hubkraft.

$$F_1 = F_R + F_H \quad (2.7)$$

$$F_1 = A \cdot p_{e,3} \cdot \eta \quad (2.8)$$

F_1 Kraft an der Kolbenstange während des Hubes in daN

η Wirkungsgrad des Zylinders

Bei normalen Betriebsverhältnissen $\eta = 0,7$

A Je nach Bewegungsrichtung der Kolbenstange A_1 oder A_2 in cm^2

$p_{e,3}$ Tatsächlicher Luftdruck im Zylinder auf der Zuluftseite in bar

- Die Kolbenstange hat während des Hubes Kraft aufzubringen, die Kolbenstangen-Geschwindigkeit muß einen vorgegebenen Wert erreichen und konstant bleiben.

Die Kolbenstangen-Kraft muß gleich oder größer sein als die Summe aus Reibkraft, Hubkraft und Beschleunigungskraft.

$$F_2 = F_R + F_H + F_B \quad (2.9)$$

Konstante Kolbenstangen-Geschwindigkeit kann erreicht werden, wenn das Druckverhältnis an der Abluft-Drossel des Zylinders über dem kritischen Wert $\frac{p_{e,4}}{p_{e,0}} = 1,9$ liegt (Bild 2.128), d.h. der Druck $p_{e,4}$ (Druck auf der Zylinder-Abluftseite vor der Drossel) muß mindestens $p_e = 1$ bar sein.

Entsprechend dem Druckverlauf-Diagramm während der Kolbenstangen-Bewegung (Bild 2.128) berechnet sich die Kraft an der Kolbenstange während der Phase der gleichmäßigen Bewegung.

$$F_2 = A_1 \cdot p_{e,3} - F_{R1} - A_2 \cdot p_{e,4} - F_{R2} \quad (2.10)$$

$$F_{R1} = A_1 \cdot p_{e,3} \cdot 0,15 \quad (2.11)$$

$$F_{R2} = A_2 \cdot p_{e,4} \cdot 0,15 \quad (2.12)$$

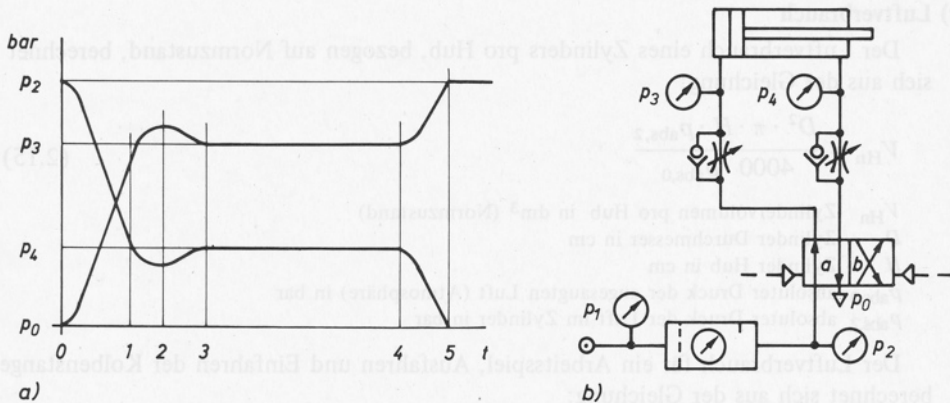


Bild 2.128 Druckverlauf in der Zuluft- und Abluftseite während der Kolbenstangen-Bewegung

a) Druck-Zeit-Diagramm, b) Schaltplan mit Meßpunkten

0 Stellglied schaltet von Schaltstellung b nach a, 1 Bewegungsbeginn, 2 maximale Beschleunigung, 3 Beginn der gleichmäßigen Bewegung, 4 Ende der Bewegung, 5 vollständiger Druckaufbau bzw. Druckabbau im Zylinder

p_0 Atmosphärendruck, p_1 Netzdruck, p_2 Druck nach der Wartungseinheit, p_3 Druck im Zylinder (Zuluft), p_4 Druck im Zylinder (Abluft)

Setzt man für die Reibwiderstände im Zylinder die Werte nach Gleichung 2.11 und 2.12 ein, so erhält man

$$F_2 = A_1 \cdot p_{e,3} - A_1 \cdot p_{e,3} \cdot 0,15 - A_2 \cdot p_{e,4} - A_2 \cdot p_{e,4} \cdot 0,15 \quad (2.13)$$

für überschlägige Berechnungen

$$F_2 = A_1 \cdot p_{e,3} \cdot \eta. \quad (2.14)$$

In Gleichung 2.14 muß der Wirkungsgrad $\eta \leq 0,6$ eingesetzt werden.

F_2 Kraft an der Kolbenstange während des Hubes bei konstanter Geschwindigkeit in daN

A_1 Kolbenfläche (siehe Gleichung 2.2) in cm^2

A_2 Kolbenringfläche (siehe Gleichung 2.3) in cm^2

$p_{e,3}$ tatsächlicher Luftdruck im Zylinder auf der Zuluftseite in bar

$p_{e,4}$ tatsächlicher Luftdruck im Zylinder auf der Abluftseite in bar

F_{R1} Reibwiderstand im Zylinder auf der Zuluftseite in daN

F_{R2} Reibwiderstand im Zylinder auf der Abluftseite in daN

η Wirkungsgrad des Zylinders, bei normalen Betriebsverhältnissen $\eta \leq 0,6$

• Überprüfung der Kolbenstange auf zulässige Knickbelastung

Je nach Einbausituation des Zylinders ergeben sich für die Kolbenstange Knickbelastungen, die nach Euler in die Belastungsfälle 1 und 2 einzureihen sind.

In Tabelle 2.4 sind die zulässigen Kolbenstangen-Kräfte für den Belastungsfall 1 zusammengestellt. Für den Belastungsfall 2 berechnen sich die zulässigen Belastungen

$$F_2 = 4 F_1.$$

b) Luftverbrauch

Der Luftverbrauch eines Zylinders pro Hub, bezogen auf Normzustand, berechnet sich aus der Gleichung:

$$V_{\text{Hn}} = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot H \cdot p_{\text{abs},2}}{4000 \cdot p_{\text{abs},0}} \quad (2.15)$$

V_{Hn} Zylindervolumen pro Hub in dm^3 (Normzustand)

D Zylinder Durchmesser in cm

H Zylinder Hub in cm

$p_{\text{abs},0}$ absoluter Druck der angesaugten Luft (Atmosphäre) in bar

$p_{\text{abs},2}$ absoluter Druck der Luft im Zylinder in bar

Der Luftverbrauch für ein Arbeitsspiel, Ausfahren und Einfahren der Kolbenstange, berechnet sich aus der Gleichung:

$$V_{\text{Zn}} = 2 V_{\text{Hn}} \quad (2.16)$$

V_{Zn} Zylindervolumen pro Arbeitsspiel in dm^3 (Normzustand)

Bei der Berechnung des Zylindervolumens kann auf die Berücksichtigung der Kolbenstange, als Ausgleich für die Toträume in den Zylinderköpfen, verzichtet werden.

c) Kolbenstangen-Geschwindigkeit

Ohne Berücksichtigung der Beschleunigungsphase berechnet sich die Kolbenstangen-Geschwindigkeit:

$$w = \frac{H}{t \cdot 100} \quad (2.17)$$

w Kolbenstangen-Geschwindigkeit in m/s

H Hub der Kolbenstange (Zylinder-Hub) in cm

t Zeit für den Hub in s

Um die gewünschte Kolbenstangen-Geschwindigkeit w zu erreichen, ist auf der Zuluftseite des Zylinders ein Volumenstrom q_v notwendig, der aus dem Zylindervolumen pro Hub und der Zeit für den Kolbenstangenhub zu berechnen ist:

$$q_v = \frac{V_{\text{Hn}} \cdot 60}{t} \text{ in } \text{dm}^3/\text{min} \quad (2.18)$$

q_v Volumenstrom auf der Zuluftseite des Zylinders in dm^3/min

V_{Hn} Zylindervolumen pro Hub in dm^3 (Normzustand)

t Zeit für den Kolbenstangenhub in s

d) Endlagendämpfung

Durch die Endlagendämpfung soll die Bewegung der Kolbenstange vor den Endlagen weich gebremst werden. Die dabei zu vernichtende Energie W_1 setzt sich zusammen:

Kinetische Energie der bewegten Masse

$$W_K = \frac{m \cdot w^2}{2} \quad (2.19)$$

Druckenergie entlang der Dämpfstrecke

$$W_D = A \cdot p_{\text{abs},4} \cdot L_D \cdot 10^{-1} \quad (2.20)$$

Potentielle Energie der bewegten Masse

$$W_P = \pm m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot L_D \cdot 10^{-2} \quad (2.21)$$

Reibungsenergie (Führung der bewegten Masse)

$$W_R = m \cdot g \cdot \mu \cdot \cos \alpha \cdot L_D \cdot 10^{-2} \quad (2.22)$$

$$W_1 = W_K + W_D \pm W_P - W_R \quad (2.23)$$

W_K Kinetische Energie in J

W_D Druckenergie in J

W_P Potentielle Energie in J

W_R Reibungsenergie in J

m bewegte Masse in kg

w Kolbenstangen-Geschwindigkeit in m/s

A Zylinderfläche = $\frac{D^2 \cdot \pi}{4}$ in cm^2

$p_{\text{abs},4}$ absoluter Druck im Zylinder auf der Abluftseite in bar

L_D Länge der Dämpfung-Strecke in cm

g Fallbeschleunigung 9,81 m/s^2

α Einbauwinkel gegen Waagerechte in Grad

Die mit Gleichung 2.23 berechnete Energie W_1 ist durch die Verdichtungs-Energie W_V im Dämpfungsraum aufzufangen. Reibungs- und Aufschlag-Energie im Zylinder können, da sie klein sind, vernachlässigt werden. Damit ist:

$$W_1 = W_V. \quad (2.24)$$

Die Verdichtungs-Energie W_V berechnet sich für polytropische Zustandänderung nach Gleichung 1.21a und 123b:

$$W_V = \frac{p_{\text{abs},4} \cdot V_0}{n - 1} \left[1 - \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^{n-1} \right]$$

W_V Verdichtungs-Energie im Dämpfungsraum

$p_{\text{abs},4}$ Druck auf der Abluftseite des Zylinders

V_0 Dämpfungsvolumen

V_1 Totraum im Zylinder

n Exponent der Polytrope

Da dem Anwender Dämpfungsvolumen und Totraum des Zylinders nicht bekannt sind, ist vom Hersteller eine Dämpfungskonstante K zu ermitteln, die in den Zylinder-Daten-Blättern angegeben wird. Mit Hilfe dieser Dämpfungskonstanten K berechnet sich die Verdichtungs-Energie:

$$W_V = p_{\text{abs},4} \cdot K \quad (2.25)$$

W_V Verdichtungs-Energie im Dämpfungsraum in J

K Verdichtungskonstante in cm^3

$p_{\text{abs},4}$ absoluter Druck auf der Abluftseite des Zylinders in bar

Durch Einsetzen der Gleichungen 2.23 und 2.25 in die Gleichung 2.24 ergibt sich:

$$W_1 = W_V$$

$$W_K + W_D \pm W_P - W_R = p_{\text{abs},4} \cdot K. \quad (2.26)$$

Ist die Verdichtungs-Energie W_V kleiner als die zu vernichtende Energie W_1 , so ist, wenn möglich, der Druck auf der Abluftseite des Zylinders zu erhöhen oder ein Zylinder mit größerem Durchmesser zu verwenden, der auch eine größere Dämpfungskonstante besitzt.

2.9.3 Drehantriebe

Bei Drehantrieben mit begrenztem Drehbereich (Bild 2.129) arbeiten zwei Kolben, die mit einer Zahnstange verbunden sind, in einem gemeinsamen Zylinderrohr gegeneinander. Die geradlinige Bewegung der Zahnstange wird auf ein Ritzel übertragen und je nach Beaufschlagung des einen oder anderen Kolben in eine Drehbewegung rechts oder links umgewandelt. In Normalausführung werden Drehantriebe, je nach Zylinderhub, mit Drehwinkeln von 90° , 180° und 360° geliefert. Das Drehmoment ist über den gesamten Drehwinkel gleich.

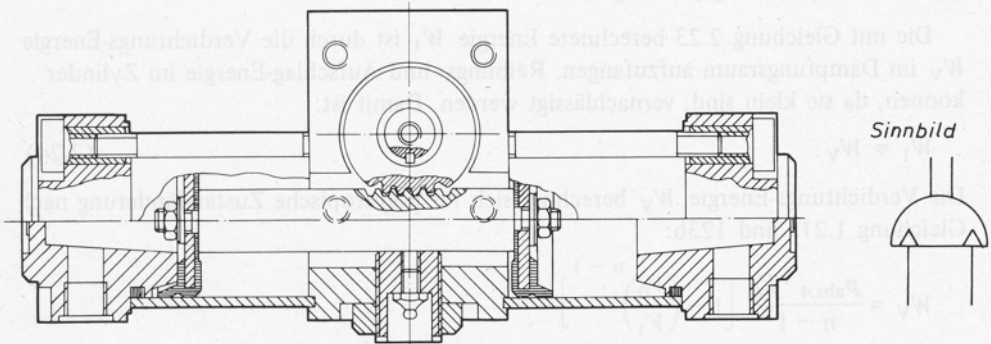


Bild 2.129 Drehantrieb mit begrenzter Hubbewegung (Bosch)

2.9.4 Vorschubeinheiten mit hydraulischem Bremszylinder

Spanabhebende Bearbeitungen wie Bohren, Fräsen und Drehen verlangen genaue Vorschub-Bewegungen. Bei Druckluftzylindern kann, wegen der Kompressibilität der Luft, die Vorschubbewegung nur bedingt geregelt werden. Hydraulisch betätigte Vorschübe ermöglichen jedoch eine stufenlose, feinfühlig und konstante Geschwindigkeitsregelung. Es ist daher naheliegend, die Vorzüge der Hydraulik mit den Vorzügen der Pneumatik in Vorschubeinheiten zu verbinden.

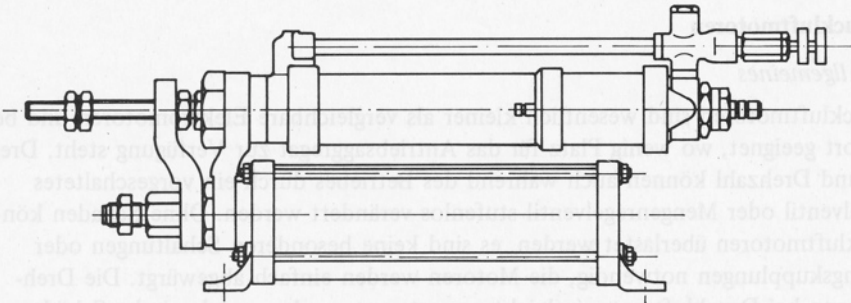


Bild 2.130 Vorschubeinheit mit hydraulischem Bremszylinder

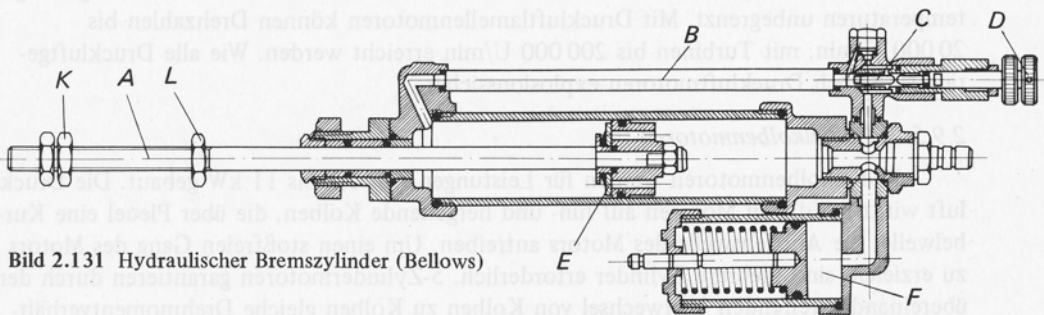


Bild 2.131 Hydraulischer Bremszylinder (Bellows)

Die in Bild 2.130 dargestellte Vorschubeinheit setzt sich aus einem doppelwirkenden Druckluftzylinder (Vorschubzylinder) und einem Hydraulik-Zylinder (Bremszylinder) zusammen. Vorschubzylinder und Bremszylinder sind mit einer, auf der Kolbenstange des Vorschubzylinders fest montierten Kupplung und über zwei verstellbare Anschläge auf der Kolbenstange des Bremszylinders verbunden (Bild 2.131).

Beim Ausfahren der Kolbenstange des Vorschubzylinders bewegt sich diese im Eilgang bis die Kupplung den Anschlag K auf der Kolbenstange A des Bremszylinders berührt. Jetzt wird das Öl aus der Deckelseite des Bremszylinders durch die Leitung B und das Drosselventil C in die Bodenseite gedrückt. Die Öldurchflußmenge und somit die Vorschubgeschwindigkeit kann mit der Rändelschraube D eingestellt werden.

Beim Einfahren der Kolbenstange des Vorschubzylinders wird die Kolbenstange des Bremszylinders von der Kupplung über den zweiten Anschlag L zurückgeschoben. Das Öl wird jetzt von der Bodenseite des Bremszylinders durch das Rückschlagventil E im Kolben widerstandslos in die Deckelseite gedrückt.

Da Bodenseite und Deckelseite des Bremszylinders verschiedene Volumen haben, ist der Ausgleichzylinder F erforderlich, der beim Einfahren der Kolbenstange die überschüssige Ölmenge aufnimmt und beim Ausfahren die fehlende Ölmenge abgibt.

2.9.5 Druckluftmotoren

2.9.5.1 Allgemeines

Druckluftmotoren sind wesentlich kleiner als vergleichbare Elektromotoren und besonders dort geeignet, wo wenig Platz für das Antriebsaggregat zur Verfügung steht. Drehmoment und Drehzahl können auch während des Betriebes durch ein vorgeschaltetes Druckregelventil oder Mengenregelventil stufenlos verändert werden. Ohne Schaden können Druckluftmotoren überlastet werden, es sind keine besonderen Schaltungen oder Überlastungskupplungen notwendig, die Motoren werden einfach abgewürgt. Die Drehrichtung kann bei Druckluftmotoren leicht umgesteuert werden, mechanische Schäden am Motor sind dadurch nicht zu befürchten. Durch die Expansion der Druckluft wird der Motor dauernd gekühlt, seine Einschaltdauer ist daher auch bei höheren Umgebungstemperaturen unbegrenzt. Mit Druckluftlamellenmotoren können Drehzahlen bis 20 000 U/min, mit Turbinen bis 200 000 U/min erreicht werden. Wie alle Druckluftgeräte sind auch Druckluftmotoren explosionsssicher.

2.9.5.2 Radialkolbenmotoren

Radialkolbenmotoren werden für Leistungen von 1,5 bis 11 kW gebaut. Die Druckluft wirkt bei diesen Motoren auf hin- und hergehende Kolben, die über Pleuel eine Kurbelwelle, die Antriebswelle des Motors antreiben. Um einen stoßfreien Gang des Motors zu erzielen, sind mehrere Zylinder erforderlich. 5-Zylindermotoren garantieren durch den übereinandergreifenden Lastwechsel von Kolben zu Kolben gleiche Drehmomentverhältnisse bei allen Drehzahlen und hohe Anfahrbelastungen (Bild 2.132).

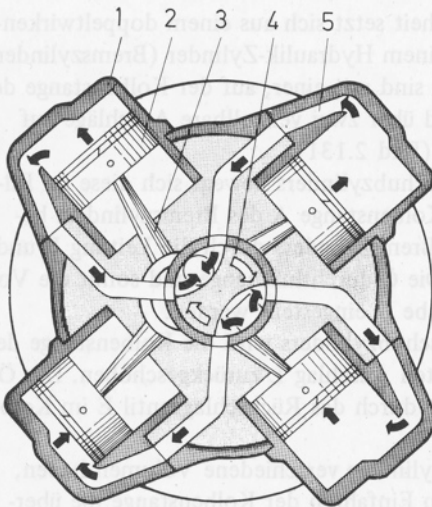


Bild 2.132

Druckluft-Radialkolbenmotor

1 Zylinder

2 Kolben

3 Pleuel

4 Steuerventil

5 Luftkanal im Zylinder

2.9.5.3 Axialkolbenmotoren

Die Arbeitsweise der Axialkolbenmotoren ist mit der der Radialkolbenmotoren vergleichbar. In 5 axial angeordneten Zylindern werden zum besseren Ausgleich des Schwung-

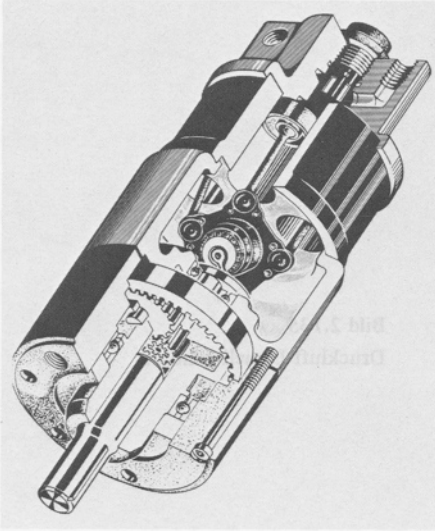


Bild 2.133 Druckluft-Axialkolbenmotor
(Gardner-Denver)

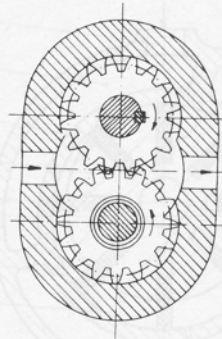


Bild 2.134 Druckluft-Zahnradmotor

momentes jeweils 2 Kolben gleichzeitig mit Druckluft beaufschlagt. Die hin- und hergehende Bewegung der Kolben wird durch eine Taumelscheibe in eine drehende Bewegung umgewandelt (Bild 2.133).

Die Leistungen der Axialkolbenmotoren liegen zwischen 0,4 und 2,2 kW, sie gewährleisten einen sicheren Anlauf mit hohem Drehmoment und können sehr feinfühlig bis zum Kriechgang gesteuert werden. Die Maximaldrehzahl liegt bei ca. 5 000 U/min. Die Motoren eignen sich für heikle Antriebsprobleme wie Notaggregate oder Schwenk- und Wendevorrichtungen. Axialmotoren werden auch als Bremsmotoren hergestellt.

2.9.5.4 Zahnradmotoren

Zwei in Eingriff stehende Zahnräder werden durch die auf die Zahnflanken wirkende Druckluft in Drehung versetzt. Eines der Zahnräder ist fest mit der Motorabtriebswelle verbunden, das zweite Zahnrad läuft leer mit. Als Antriebsmaschinen mit großen Leistungen werden Zahnradmotoren im Bergbau verwendet (Bild 2.134).

2.9.5.5 Turbomotoren

Turbomotoren nützen die kinetische Energie der aus einer Düse ausströmenden Druckluft. Mit diesen Motoren können kleine Leistungen, aber hohe Drehzahlen erreicht werden.

2.9.5.6 Lamellenmotoren

Wegen der einfachen Bauweise, dem geringen Gewicht und dem verhältnismäßig hohen Wirkungsgrad werden Druckluftmotoren in Bearbeitungseinheiten heute fast ausschließlich als Rotationsmaschinen mit Lamellen ausgeführt. In Bild 2.135 und 2.136 ist

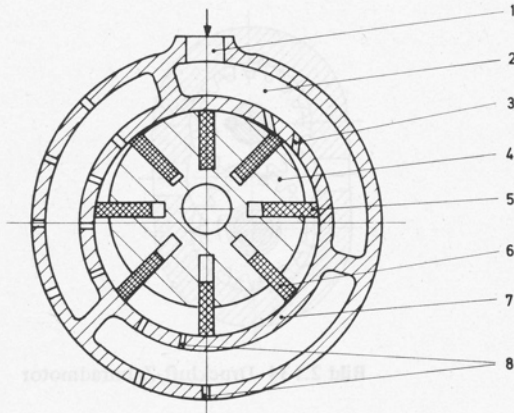


Bild 2.135
Druckluft-Lamellenmotor

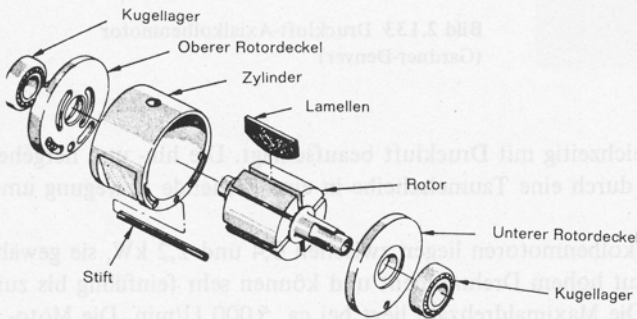


Bild 2.136 Explosivdarstellung eines Druckluft-Lamellenmotors (Gardner-Denver)

der Aufbau und die Wirkungsweise eines Druckluftlamellenmotors dargestellt. Die Druckluft tritt durch den Anschluß 1, dem ein Absperrventil vorgeschaltet ist, in den Ringkanal 2 ein, und gelangt durch die Einlassschlitze 3 in den Zylinderraum. Der Rotor 4 ist exzentrisch in den Zylindergehäusedeckeln gelagert. Die Lamellen sind in Schlitzen im Rotor geführt und werden durch die Fliehkraft nach außen gedrückt. Dadurch dichten sie an der Zylinderwand die einzelnen Räume zwischen den Lamellen gegeneinander ab. Um bereits beim Anfahren des Motors die Lamellen gegen die Zylinderwand zu drücken, ist bei verschiedenen Fabrikaten der hintere Zylinderdeckel mit Ausfräsungen versehen, durch welche die Druckluft in die Rotorschlitze unter die Lamellen gelangt und diese nach außen drückt. Da die Lamelle 6 der Druckluft eine größere Angriffsfläche bietet als die Lamelle 5, wird der Rotor in Pfeilrichtung bewegt. Die Luft entspannt sich beim Weiterdrehen des Rotors in den immer größer werdenden Räumen zwischen den Lamellen und gibt ihre Energie entsprechend dem Flächenunterschied der aus dem Rotor ragenden Lamellen ab. Durch die Auslassschlitze 8 strömt die verbrauchte Luft ins Freie.

Druckluftlamellenmotoren werden in Bearbeitungseinheiten zum Bohren, Schleifen, Polieren usw. eingebaut. Diese sind für den Handbetrieb oder zum Einbau in Vorrichtungen und Maschinen geeignet (siehe Abschnitt 2.9.6, Pneumatische Bearbeitungseinheiten).

Druckluftschrauber werden ohne Kupplungen, mit Rutschkupplungen oder mit Schlagkupplungen hergestellt. Für genau einzuhaltende Drehmomente haben sich die sogenannten Stillstandschrauber als vorteilhaft erwiesen. Bei diesen Schraubern ist der Motor über ein Getriebe starr mit der Abtriebsachse verbunden. Das gewünschte Drehmoment kann durch Verändern des Luftdruckes, in bestimmten Grenzen, beliebig eingestellt werden. Nach dem Festziehen der Mutter oder der Schraube wird der Motor abgewürgt.

In Bild 2.137 ist ein Stillstandschrauber dargestellt, der mit 2 Drehzahlen arbeitet. Schraube oder Mutter werden mit großer Drehzahl und kleinem Drehmoment bis zum

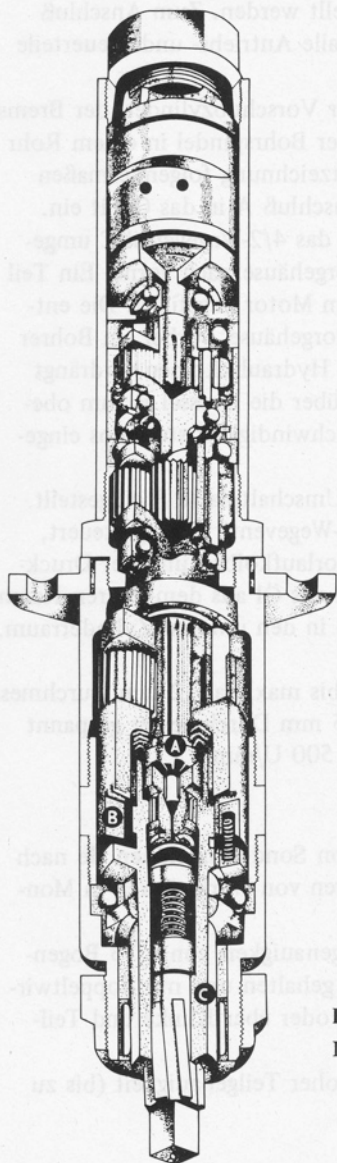


Bild 2.137

Druckluft-Stillstandschrauber (Desoutter)

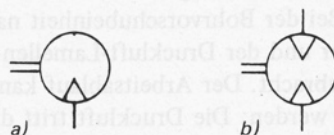


Bild 2.138 Sinnbild für Druckluftmotor

a) mit einer Drehrichtung

b) mit zwei Drehrichtungen

Anliegen der zu verschraubenden Teile geschraubt. Durch den größer werdenden Widerstand wird im Getriebe des Schraubers mit einer Kupplung eine andere Übersetzung geschaltet, d. h. die Abtriebsspindel bringt bei kleinerer Drehzahl ein größeres Drehmoment.

2.9.6 Bearbeitungseinheiten

Mit pneumatischen Bearbeitungseinheiten können Arbeitsgänge wie Bohren, Reiben, Drehen, Fräsen und Gewindeschneiden vollautomatisch ausgeführt werden. Diese Einheiten eignen sich zum Aufbau von Sondermaschinen oder Transferstraßen. Sie sind vollkommen in sich geschlossene Aggregate und können als Bauelemente jederzeit demontiert und in einer anderen Gruppierung zusammengestellt werden. Zum Anschluß dieser Einheiten ist nur ein Druckluftanschluß notwendig, alle Antriebs- und Steuerteile sind im Gerät untergebracht.

Bei der Bohrvorschubeinheit nach Bild 2.139 sind der Vorschubzylinder, der Bremszylinder und der Druckluft-Lamellen-Motor zum Antrieb der Bohrspindel in einem Rohr untergebracht. Der Arbeitsablauf kann an Hand der Schnittzeichnung folgendermaßen erklärt werden: Die Druckluft tritt durch den zentralen Anschluß A in das Gerät ein. Durch ein außerhalb des Gerätes liegendes Signalglied wird das 4/2-Wegeventil C umgesteuert und die Druckluft schiebt Vorlaufkolben und Motorgehäuse nach vorne. Ein Teil der Druckluft wird durch Bohrungen im Vorlaufkolben dem Motor zugeführt. Die entspannte Luft strömt durch Auspuffschlitze D aus dem Motorgehäuse, vorbei am Bohrer und dient zur Kühlung und zum Wegblasen der Späne. Der Hydraulikkolben verdrängt beim Vorlauf das im unteren Zylinderraum befindliche Öl über die Drossel E zum oberen Zylinderraum. Mit der Drossel E kann die Vorschubgeschwindigkeit stufenlos eingestellt werden.

Die gewünschte Bohrtiefe wird durch Verstellen der Umschaltplatte F eingestellt. Sobald diese Platte das Signalglied B betätigt, wird das 4/2-Wegeventil C umgesteuert, die Druckluft wird zum Rücklaufkolben geleitet und der Vorlaufkolben und der Druckluftmotor werden entlüftet. Der Hydraulikkolben verdrängt das Öl aus dem oberen Raum des Zylinders ohne Widerstand über das Rückschlagventil G in den unteren Zylinderraum. Der Rücklauf erfolgt daher im Eilgang.

Diese Bohrvorschubeinheiten werden mit Bohrfutter bis maximal 12 mm Durchmesser geliefert, mit Morsehülse können Bohrer bis maximal 35 mm Durchmesser gespannt werden. Die Leerlaufdrehzahlen liegen zwischen 300 und 2 500 U/min.

2.9.7 Pneumatische Schalttische

Pneumatische Schalttische eignen sich zum Aufbau von Sondermaschinen. Je nach Teilgenauigkeit können sie zum Zuführen oder Transportieren von Werkstücken in Montage- oder Bearbeitungsmaschinen verwendet werden.

Schalttische für Montageeinrichtungen, mit einer Teilgenauigkeit von ± 75 Bogen Sekunden, werden mit Indexbolzen in den Schaltstellungen gehalten und mit doppeltwirkenden Zylindern über Zahnstange, Ritzel und Gelenkstück oder über Klinke und Teilscheibe geschaltet.

Der Arbeitsablauf eines Schalttisches mit besonders hoher Teilgenauigkeit (bis zu $\pm 1,5$ Bogensekunden) ist in Bild 2.140 dargestellt.

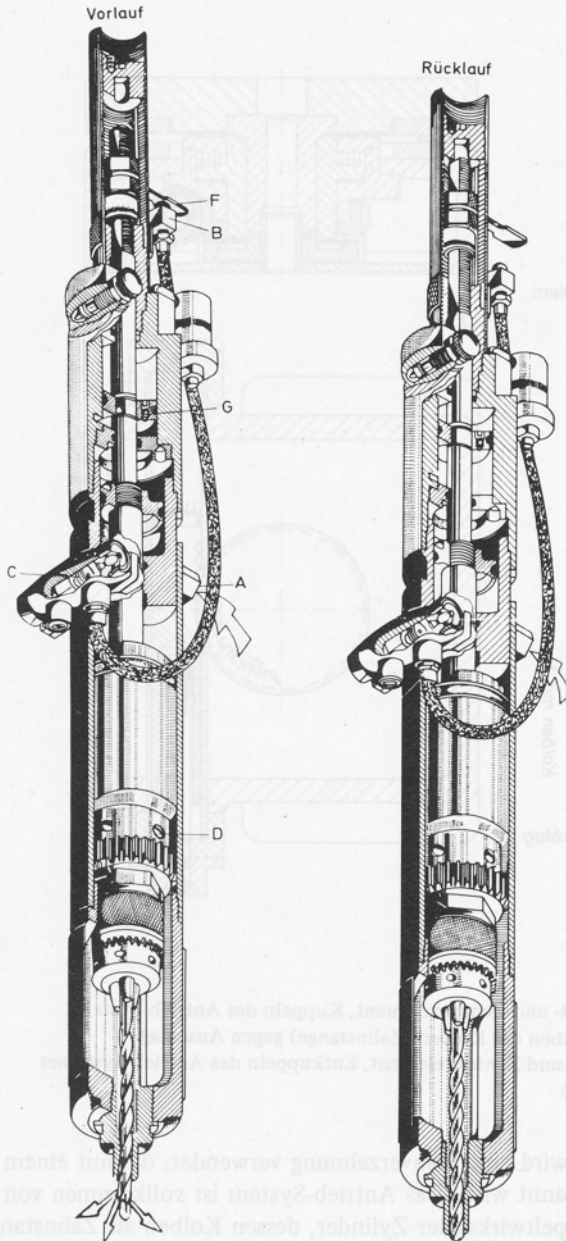


Bild 2.139 Bohrvorschubeinheit (Gardner-Denver)

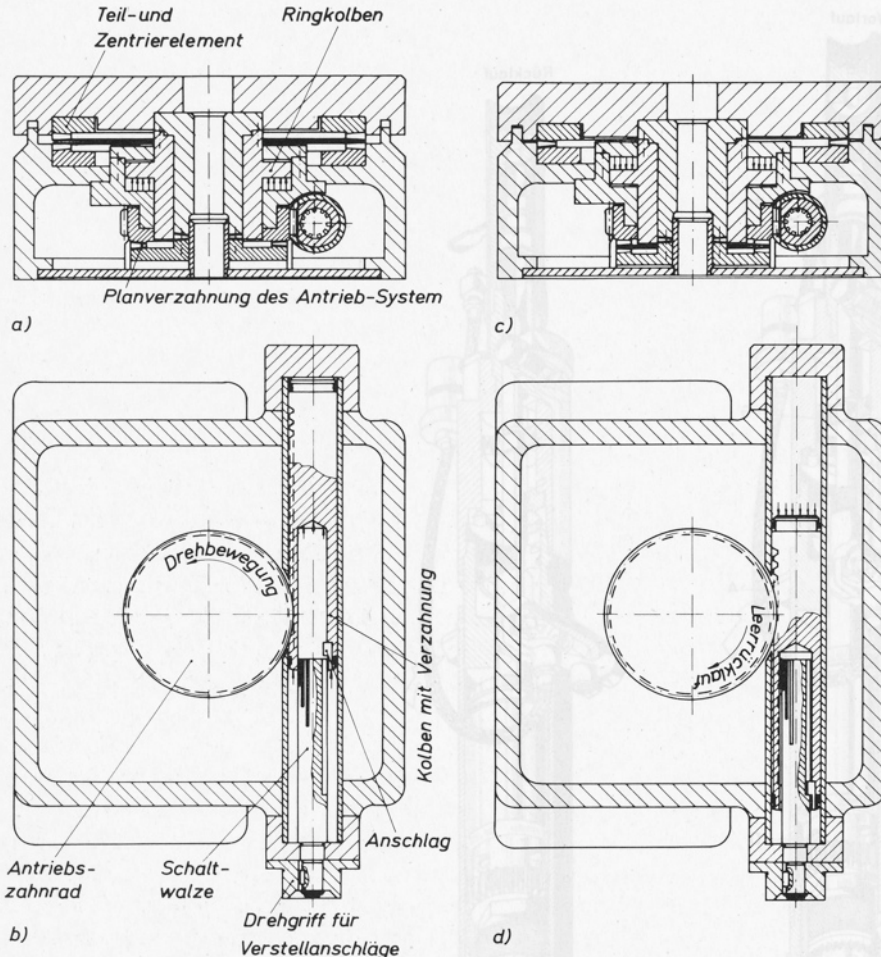


Bild 2.140 Schalttisch (Fibro)

- a) Abheben des Schalttisches aus dem Teil- und Zentrierelement, Kuppeln des Antrieb-Systems
- b) Teilen des Schalttisches durch Verschieben des Kolben (Zahnstange) gegen Anschlag
- c) Absenken des Schalttisches in das Teil- und Zentrierelement, Entkuppeln des Antrieb-Systemes
- d) Leer-Rücklauf des Kolben (Zahnstange)

Als Teil- und Zentrierelement wird eine Planverzahnung verwendet, die mit einem zentralen Ringkolben zusammengespant wird. Das Antrieb-System ist vollkommen von der Positionierung getrennt. Ein doppeltwirkender Zylinder, dessen Kolben als Zahnstange ausgebildet ist, greift in ein Ritzel ein, das eine Planverzahnung mit gleicher Teilung wie das Zentrierelement trägt. Wenn durch den zentralen Ringkolben der Schalttisch aus der Verzahnung des Teil- und Zentrierelementes gehoben wird, wird gleichzeitig die Planverzahnung des Antrieb-Systems gekuppelt. Die Teilung des Tisches erfolgt durch Verschieben des Kolbens im doppeltwirkenden Zylinder, wobei der Teilungsschritt durch einen

fest eingebauten Anschlag oder durch manuell zu betätigende Verstellanschläge bestimmt wird. Die Teilung des Tisches kann, je nach Zähnezahl der eingebauten Planverzahnung, zwischen 2 und 1 440 Schritten je 360° gewählt werden.

Der im normalen Druckluftnetz zur Verfügung stehende Druck von $p_e = 6$ bar setzt der Belastbarkeit des Tisches Grenzen. Durch die Verwendung von Druckübersetzer und Druckwandler können die Verriegelungs- und Transport-Kräfte erhöht werden.

2.9.8 Taktvorschubgeräte

Mit Taktvorschubgeräten nach Bild 2.141 kann Pressen, Sägen oder Bohrmaschinen das zu bearbeitende Material in genauen Schritten zugeführt werden. Durch entsprechende Ausbildung der Gegenhalter kann sowohl Bandmaterial als auch Rund- oder Profilmaterial transportiert werden.

Der Grundkörper 3 des Gerätes wird fest auf dem Maschinentisch montiert. Die Vorschubbrücke 6 ist zwischen der Feineinstellschraube 7 und festen Anschlägen am Grundkörper beweglich. Das zu transportierende Material wird zwischen den Rollen 1 geführt und während der Bearbeitung mit der Spannplatte 18 gegen den Gegenhalter 2 gespannt. Nach der Bearbeitung wird das Material in der Vorschubbrücke gespannt, wäh-

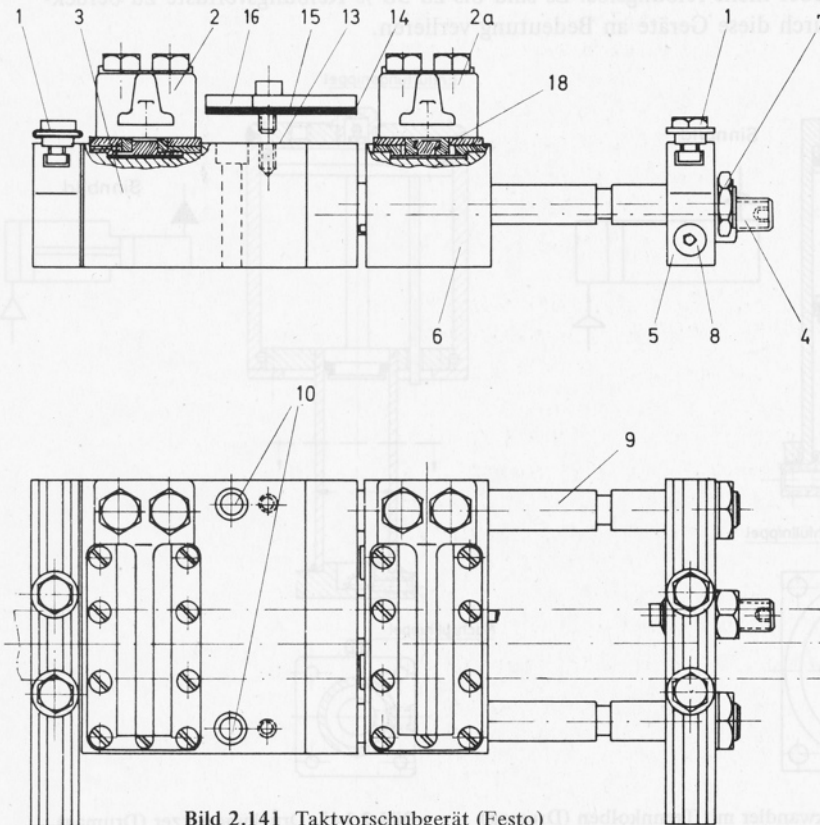


Bild 2.141 Taktvorschubgerät (Festo)

rend die Spannung im Grundkörper gelöst wird. Anschließend wird die Vorschubbrücke gegen den Anschlag im Grundkörper gezogen und transportiert das in ihr gespannte Material. Jetzt wird das Material wieder im Grundkörper gespannt und die Spannung in der Vorschubbrücke wird gelöst. Während der Bearbeitung des Materials fährt die Vorschubbrücke in die Ausgangsstellung. Diese Taktvorschubgeräte werden in 3 Größen für Materialbreiten bis 200 mm und stufenlos einstellbare Vorschübe von 0 ... 250 mm hergestellt. Die Genauigkeit des Vorschubweges liegt nach Angaben des Herstellers bei 0,01 mm.

2.10 Druckwandler und Druckübersetzer

Druckwandler übertragen die Energie der Druckluft in ein Hydrauliksystem, wobei der Druck nicht, oder nur geringfügig geändert wird. Bei einem Umformer ohne Trennkolben zwischen Druckluft und Öl wird der Luftdruck ohne Widerstand in hydraulischen Druck umgewandelt, da die Luft direkt auf das Öl wirken kann. Diese Druckwandler können nur senkrecht angeordnet werden, d.h. der Luftanschluß oben und der Ölananschluß unten. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten ist es kaum zu vermeiden, daß sich die beiden Medien vermischen.

Umformer mit Trennkolben (Bild 2.142) verhindern ein Vermischen der beiden Medien, arbeiten aber nicht reibungslos. Es sind bis zu 30 % Reibungsverluste zu berücksichtigen, wodurch diese Geräte an Bedeutung verlieren.

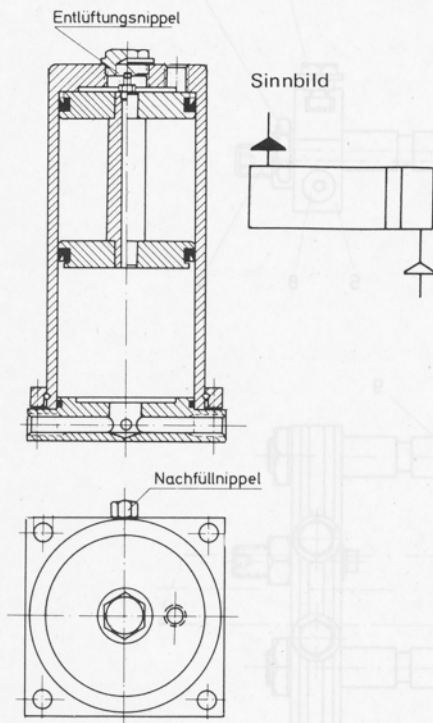


Bild 2.142 Druckwandler mit Trennkolben (Drumag)

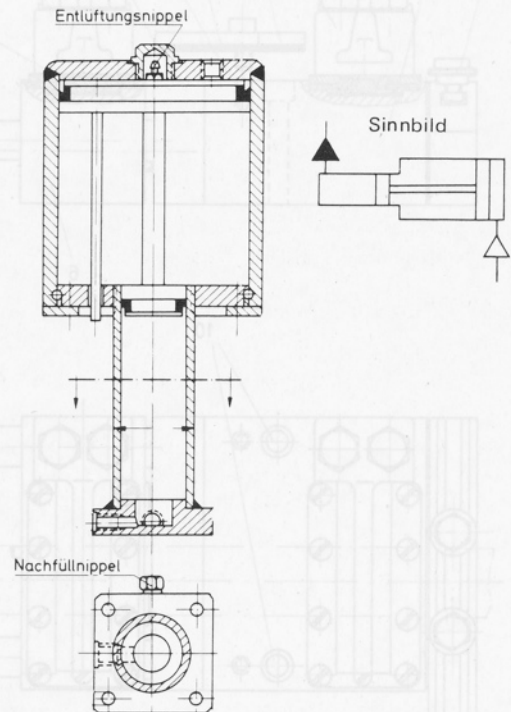


Bild 2.143 Druckübersetzer (Drumag)

Mit einem Druckübersetzer wird der Luftdruck in einen vielfach höheren hydraulischen Druck übersetzt. Der Aufbau eines Druckübersetzers ist aus Bild 2.143 zu ersehen. Ein einfachwirkender Druckluftzylinder mit einer großen Kolbenfläche ist mit einem einfachwirkenden Hydraulikzylinder mit kleiner Kolbenfläche verbunden. Die Kolben beider Zylinder sitzen auf einer gemeinsamen Kolbenstange. Der auf die Kolbenfläche des Druckluftzylinders wirkende Druck wird entsprechend dem Flächenverhältnis der Kolben in einen höheren hydraulischen Druck übersetzt, wobei Reibungsverluste bis ca. 30 % berücksichtigt werden müssen. Diese Druckübersetzer werden mit Übersetzungsverhältnissen von 4 : 1; 8 : 1 und 16 : 1 hergestellt, wobei sich bei einem Luftdruck von $p_e = 6$ bar auf der Hydraulikseite tatsächliche Drücke von ca. $p_e = 17; 33; 65$ bar ergeben. Da diese Druckübersetzer keine eigene Rückstellung haben und nach ausgeführtem Arbeitshub durch das Antriebsglied wieder in die Ausgangsstellung gebracht werden müssen, ist ihr Übersetzungsverhältnis begrenzt.

Die Kombination eines Druckwandlers und eines Druckübersetzers nach Bild 2.144 ermöglichen es, im Hydrauliksystem mit zwei Druckstufen zu arbeiten. Die Bewegung der Kolbenstange kann in 3 Phasen unterteilt werden:

1. Beim Eilvorlauf oder Ansatzhub wird der Kolben des Antriebsgliedes durch Öl aus dem Druckwandler bis kurz vor das Werkstück ausgefahren. Der Druckübersetzer ist nicht in Tätigkeit, die Vorschubkraft berechnet sich aus der Formel:

$$F_{Zmin} = A_3 \cdot p_e \cdot \eta \quad (2.27)$$

F_{Zmin} Kraft an der Kolbenstange des Arbeitszylinders beim Ausfahren in daN

A_3 Kolbenstangen-Fläche $= \frac{d^2 \pi}{4}$ in cm²

d Kolbenstangen Durchmesser in cm

p_e tatsächlicher Luftdruck im Arbeitszylinder und Druckwandler in bar

η Wirkungsgrad des Arbeitszylinders $\eta = 0,7$

2. Beim Hochdruckhub sind Druckwandler und Druckübersetzer mit Druckluft beaufschlagt, die Kraft an der Kolbenstange (Spannkraft) berechnet sich

$$F_{Zmax} = A_1 \cdot p_e \cdot i \cdot \eta \quad (2.28)$$

F_{Zmax} Kraft an der Kolbenstange des Arbeitszylinders (Spannkraft) in daN

A_1 Kolbenfläche $= \frac{D^2 \pi}{4}$ in cm²

D Arbeitszylinder Durchmesser in cm

p_e tatsächlicher Luftdruck im Druckwandler und Druckübersetzer in bar

i Übersetzungsverhältnis des Druckübersetzers

η Wirkungsgrad des Druckübersetzers und Arbeitszylinders $\eta = 0,6$

3. Zum Rücklauf wird der Druckwandler und die Kolbenfläche des Druckübersetzers entlüftet, die Ringfläche des Druckübersetzers und die Ringfläche des Antriebsgliedes sind mit Druckluft beaufschlagt, wodurch der Rücklauf in die Ausgangsstellung erreicht wird.

Der Aufbau dieser Druckübersetzer ermöglicht es, lange Ansatzhübe mit geringer Vorschubkraft und hohen Spanndrücken zu verbinden. Das Ölvolumen des Druckübersetzers kann auf ein notwendiges Minimum beschränkt werden, wogegen das Volumen

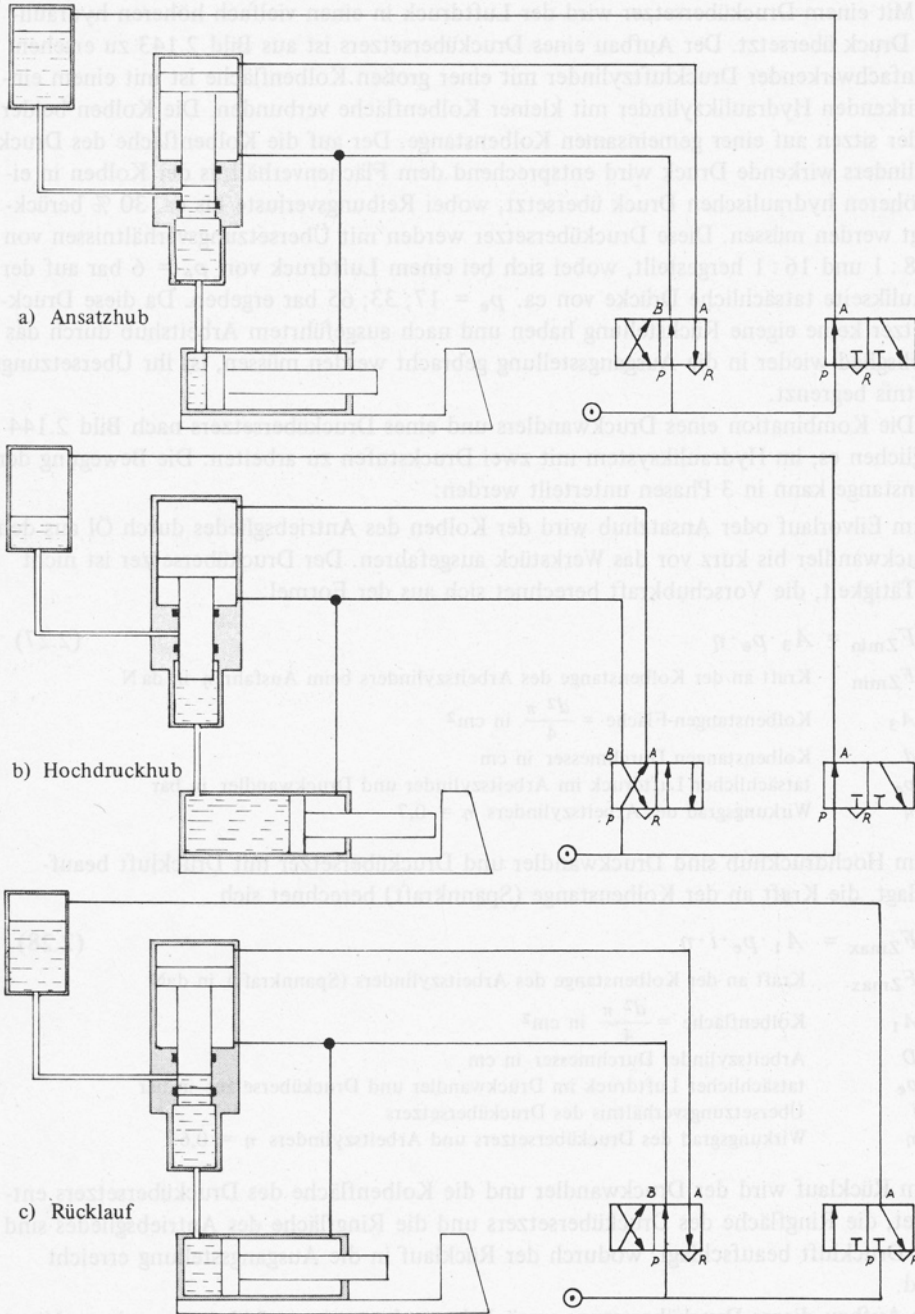


Bild 2.144 Kombination von Druckwandler und Druckübersetzer zur Überbrückung großer Spannungswege

des Druckwandlers mindestens um 50 bis 100 % größer als das errechnete ausgelegt werden soll, da es nicht zu vermeiden ist, daß beim Entspannen der Luft oberhalb des Flüssigkeitsspiegels immer etwas Öl von der Luft mitgerissen wird.

2.11 Leitungen und Leitungsverbindungen

Leitungen dienen zur Energieübertragung. In pneumatischen Anlagen werden Stahlrohre, Schläuche und Kunststoffrohre zur Leitung des Energieträgers Luft von einem Gerät zum anderen verwendet.

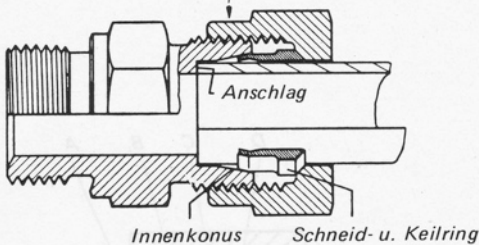
Kunststoffrohre haben gegenüber Stahlrohren den Vorteil, daß sie korrosionsbeständig sind, sich ohne Hilfswerkzeug einfach und schnell verlegen lassen und auf Grund der glatten inneren Oberfläche geringeren Strömungswiderstand haben.

Zur Verbindung der Rohre und Schläuche untereinander und zum Anschluß der Leitungen an die Geräte, werden heute fast ausschließlich lösbare Verschraubungen verwendet.

Für Stahlrohre eignen sich die Schneidringverschraubungen wie in Bild 2.145 dargestellt. Durch Anziehen der Überwurfmutter wird der Schneidring durch den Innenkonus verjüngt und schneidet sich unter Aufwurf eines sichtbaren Bundes in das Rohr ein. Die Verschraubung kann mehrmals gelöst und wieder verbunden werden.

Mit der Schneidringverschraubung können auch Kunststoffrohre montiert werden, wenn, wie in Bild 2.146 dargestellt, ein Stützrohr in das Kunststoffrohr eingeschoben wird. Durch das Stützrohr tritt jedoch eine Querschnittsverengung und damit ein erhöhter Strömungswiderstand auf, der den Vorteil der glatten Innenwand des Kunststoffrohres zunichte macht.

Vor dem Anzug der Überwurfmutter



Nach dem Anzug der Überwurfmutter

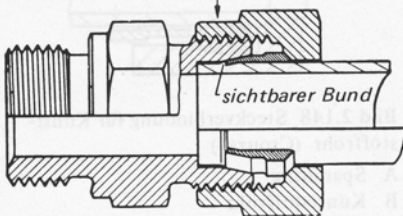
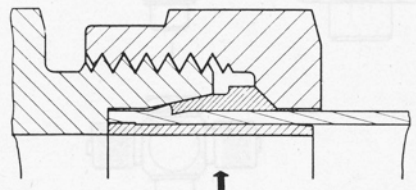


Bild 2.145 Rohrverschraubung (Ermeto)



Verschraubung mit Verstärkungshülse fertig montiert

Bild 2.146 Rohrverschraubung für Kunststoffrohr mit Stützring (Ermeto)

Am einfachsten werden Kunststoffrohre mit den in Bild 2.147 dargestellten Verschraubungen an die Geräte angeschlossen. Die Überwurfmutter wird auf das Kunststoffrohr geschoben, anschließend wird das Rohr über den Wulst am Anschlußnippel gedrückt und die Überwurfmutter wird auf den Gewindestutzen aufgeschraubt, dabei klemmt sie das Kunststoffrohr fest. Die Überwurfmutter wird ohne Werkzeug von Hand angezogen und kann genauso leicht wieder gelöst werden.

Ohne Hilfswerkzeug können halbstarre Kunststoffrohre, mit einer Außendurchmesser-Toleranz von $\pm 0,05$ mm, in die in Bild 2.148 dargestellte Steckverbindung montiert werden. Um eine feste und dichte Verbindung herzustellen, ist das Kunststoffrohr bis zum Anschlag in die Steckverbindung einzudrücken. Zum Demontieren ist der Ring A unter gleichzeitigem Ziehen am Kunststoffrohr in die Steckverbindung einzudrücken.

Die Einschraubgewinde werden am zweckmäßigsten mit Fiberringen gedichtet. Hanf oder Dichtbänder sollen möglichst nicht verwendet werden, da auch bei sorgfältiger Montage Störungen durch eingedrungene Hanffäden oder Dichtbandreste nicht zu vermeiden sind.

In den Schaltplänen werden Arbeitsleitungen als durchgehende Linien eingetragen. Arbeitsleitungen sind Speise- und Rücklaufleitungen, die die Antriebsglieder mit dem Netz verbinden.

Steuerleitungen sind Leitungen zur Übertragung der Steuerenergie, sie werden als gestrichelte Linie gezeichnet.

Biegsame Leitungen können als gekrümmte Linie eingezeichnet werden, wenn ein besonderer Hinweis notwendig erscheint.

Die Abmessung der Leitung kann in Kurzbezeichnungen über der Linie eingetragen werden. Ein Rohr mit 8 mm Außendurchmesser und 1 mm Wandstärke wird mit 8×1 bezeichnet.

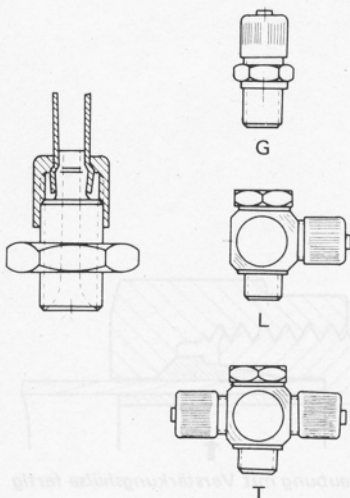


Bild 2.147 Verschraubungen für Kunststoffrohr (Bosch)

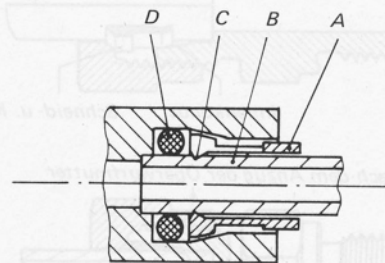


Bild 2.148 Steckverbindung für Kunststoffrohr (Crouzet)

- A Spannring
- B Kunststoffrohr
- C Spannzähne
- D Dichtring

Leitungsverbindungen, gleichgültig ob sie geschweißt, gelötet oder geschraubt sind, werden in den Schaltplänen durch einen Punkt gekennzeichnet, während sich überquerende Leitungen, die nicht miteinander verbunden sind, unbezeichnet bleiben.

Die Sinnbilder der Leitungen und Leitungsverbindungen sind in Bild 2.149 dargestellt.

Schnellkupplungen dienen zu Leitungsverbindungen, die ohne Werkzeug hergestellt und getrennt werden können (Bild 2.150 und Bild 2.151). Sie eignen sich zum raschen Anschließen und Auswechseln von pneumatisch betriebenen Geräten und Vorrichtungen. Schnellkupplungen werden nicht absperrend, einseitig oder beidseitig absperrend hergestellt. Die absperrenden Kupplungen sind mit einem Selbstschlußventil ausgerüstet, das beim Entkuppeln die Leitungen schließt. Durch Einführen des Stecknippels in die Kupplung wird das Selbstschlußventil geöffnet und der freie Durchgang hergestellt.

2.12 Schalldämpfer

Beim Austritt der Druckluft aus den Auslaßöffnungen der pneumatischen Geräte entstehen Auspuffgeräusche, deren Größe von der Geschwindigkeitsdifferenz der beiden aufeinandertreffenden Luftmassen abhängig ist. Das heißt, die mit hoher Geschwindig-

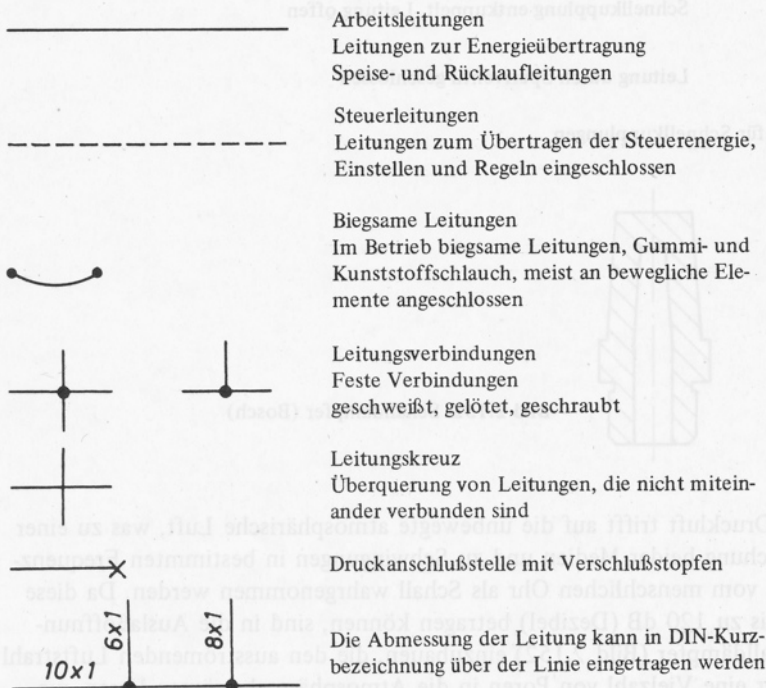


Bild 2.149 Sinnbilder für Leitungen und Leitungsverbindungen

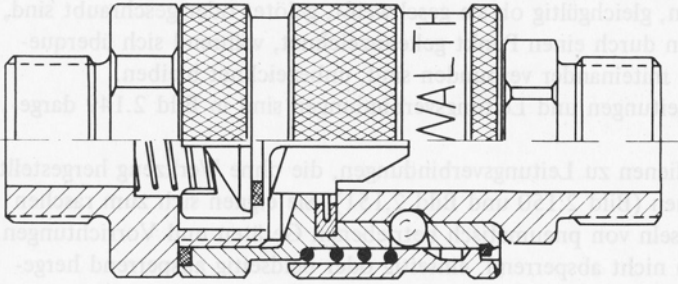
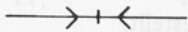
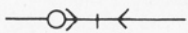


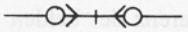
Bild 2.150
Schnellkupplung
(Walther)



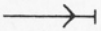
Schnellkupplung gekuppelt, ohne Sperrventile



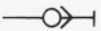
Schnellkupplung gekuppelt, mit einseitig mechanisch
geöffneten Sperrventil



Schnellkupplung gekuppelt, mit beidseitig mechanisch
geöffneten Sperrventilen



Schnellkupplung entkuppelt, Leitung offen



Leitung durch Sperrventil geschlossen

Bild 2.151 Sinnbilder für Schnellkupplungen

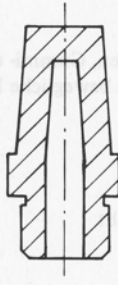
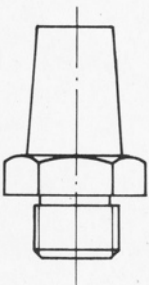


Bild 2.152 Schalldämpfer (Bosch)

keit ausströmende Druckluft trifft auf die unbewegte atmosphärische Luft, was zu einer turbulenten Vermischung beider Medien und zu Schwingungen in bestimmten Frequenzbereichen führt, die vom menschlichen Ohr als Schall wahrgenommen werden. Da diese Auspuffgeräusche bis zu 120 dB (Dezibel) betragen können, sind in die Auslaßöffnungen der Geräte Schalldämpfer (Bild 2.152) einzubauen, die den ausströmenden Luftstrahl aufnehmen und über eine Vielzahl von Poren in die Atmosphäre abströmen lassen, wodurch die störenden Geräusche auf ein zulässiges Maß reduziert werden.

Da die Abluft fast immer Ölnebel transportiert, ist es vorteilhaft, Filter-Schalldämpfer einzusetzen, die neben der Schallminderung auch den Ölnebel aus der Abluft abscheiden und weitgehend gereinigte Luft in die Atmosphäre austreten lassen.

2.13 Meßgeräte

2.13.1 Druckmeßgeräte

Mit Druckmeßgeräten wird der Über- oder Unterdruck, meist gegenüber dem absoluten Druck p_{abs} , gemessen (Sinnbild für Druckmeßgeräte siehe Bild 2.153).

Bild 2.153

Sinnbild für Druckmeßgerät



2.13.1.1 U-Rohr-Druckmeßgeräte

Kleine Drücke (bis 0,1 bar) werden problemlos mit U-Rohr-Meßgeräten gemessen. Der Über- oder Unterdruck wird durch den Höhenunterschied Δh der beiden Flüssigkeitsspiegel in einem U-Rohr angezeigt (Bild 2.154a). Durch die Verwendung verschiedener Flüssigkeiten kann der Meßbereich erweitert bzw. durch die schräge Anordnung des Meßrohres die Ablesegenauigkeit erhöht werden (Bild 2.154b).

Der gemessene Druck berechnet sich aus der Höhendifferenz Δh der beiden Flüssigkeitsspiegel und der Dichte ρ der Meßflüssigkeit nach der Gleichung 1.7b. (Bei genauen Messungen ist die Temperatur der Meßflüssigkeit zu ermitteln und die Dichte ρ dementsprechend zu korrigieren. Für g ist die lokale Fallbeschleunigung einzusetzen.)

$$p_e = \rho \cdot \Delta h \cdot g$$

p_e Über- oder Unterdruck in Pa ($10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$)

Δh Höhenunterschied der Flüssigkeitsspiegel in m

ρ Dichte der Meßflüssigkeit

Alkohol	700 kg/m ³
Wasser	1000 kg/m ³
Quecksilber	13600 kg/m ³

g Fallbeschleunigung 9,81 m/s²

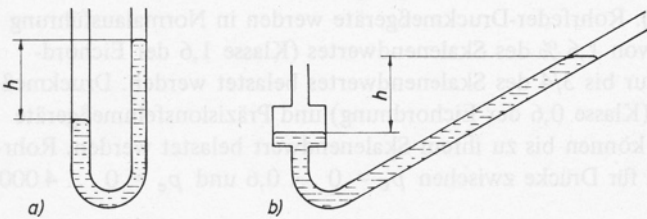


Bild 2.154

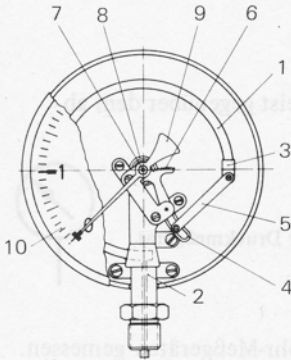
Rohr-Druckmeßgeräte

a) U-Rohr-Druckmeßgerät

b) Schrägrohr-Druckmeßgerät

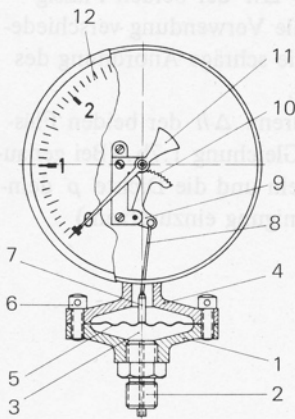
2.13.1.2 Metall-Druckmeßgeräte

Abmessungen, Befestigungsarten, Anschlußgewinde, Lage des Anschlusses, Druckbereich und Güteklassen der Metall-Druckmeßgeräte sind genormt. Je nach der Art des verwendeten Meßgliedes unterscheidet man Rohrfeder-, Plattenfeder- und Kapselfeder-Druckmeßgeräte. Das Meßglied der Rohrfeder-Druckmeßgeräte ist ein zu einem Kreisbogen, einer Schneckenfeder oder einer Schraubenfeder gebogenes Messing-, Bronze- oder Stahlrohr von elliptischem Querschnitt (Bourdonsche Röhre), das mit dem Druckraum verbunden ist. Da der außenliegende Teil der Oberfläche größer als der innere ist, wird die Röh-

**Bild 2.155**

Rohrfeder-Druckmeßgerät (Wika)

1 Rohrfeder, 2 Federträger, 3 Federendstück, 4 Segment,
5 Zugstange, 6 Verzahnung, 7 Zeigerwelle, 8 Spiralfeder,
9 Zeiger, 10 Zifferblatt

**Bild 2.156**

Plattenfeder-Druckmeßgerät (Wika)

1 Unterer Flansch, 2 Anschlußzapfen, 3 Druckraum,
4 Oberer Flansch, 5 Plattenfeder, 6 Lochschraube,
7 Kugelgelenk, 8 Schubstange, 9 Segment, 10 Verzahnung,
11 Zeiger, 12 Zifferblatt

renfeder bei Druckzunahme gestreckt und die Bewegung durch ein Hebelwerk auf den Zeiger übertragen (Bild 2.155). Rohrfeder-Druckmeßgeräte werden in Normalausführung mit einer Anzeigegenauigkeit von 1,6 % des Skalenendwertes (Klasse 1,6 der Eichordnung) hergestellt und sollen nur bis $3/4$ des Skalenendwertes belastet werden. Druckmeßgeräte in Feinmeßausführung (Klasse 0,6 der Eichordnung) und Präzisionsfeinmeßgeräte (Klasse 0,1 der Eichordnung) können bis zu ihrem Skalenendwert belastet werden. Rohrfeder-Druckmeßgeräte werden für Drücke zwischen $p_e = 0 \dots 0,6$ und $p_e = 0 \dots 4000$ bar hergestellt.

Bei Plattenfeder-Druckmeßgeräten (Bild 2.156) wirkt der Druck auf eine wellenförmig gekrümmte Plattenfeder, deren Bewegung bei Druckzunahme oder Druckabnahme durch ein Hebelwerk auf einen Zeiger übertragen wird. Plattenfeder-Druckmeßgeräte sind unempfindlicher gegen Überdruck und Verschmutzung als Rohrfeder-Druckmesser. Der maximale Anzeigebereich ist $p_e = 0 \dots 25$ bar. Diese Druckmeßgeräte sind zum Messen niedriger Drücke geeignet (Skaleneinheit 10 Pa). Die Anzeigegenauigkeit ist besser als 1,6 % des Skalenendwertes, sie sind bis zum Skalenendwert belastbar.

Kapselfeder-Druckmeßgeräte verwenden als Meßglied eine linsenförmige Dose, die aus zwei gegenüberliegenden gewellten Platten besteht (Bild 2.157). Über ein Rohr ist der Innenraum der Kapselfeder mit einer Bohrung im Anschlußzapfen verbunden. Durch

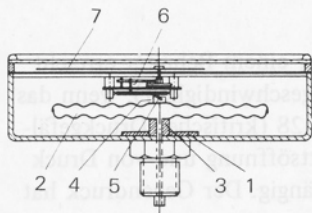


Bild 2.157

Kapselfeder-Druckmeßgerät (Wika)

1 Grundplatte, 2 Kapselfeder, 3 Verbindungsrohr, 4 Stift, 5 Hebel, 6 Zeigerwerk, 7 Zeiger

diese Bohrung und das Verbindungsrohr gelangt das Druckmedium in das Meßglied. Bei Druckanstieg wölbt sich die Kapselfeder beidseitig auf. Die Größe dieser Aufwölbung ist das Maß für den zu messenden Druck. Über ein Hebelwerk wird die Formänderung in eine Zeigerdrehbewegung umgewandelt. Diese Druckmeßgeräte sind besonders für Feindruckmessungen im Über- und Unterdruckbereich von $p_e = -0,6$ bar bis $p_e = 0,6$ bar geeignet. Sie sind endwertbelastbar und werden mit einer Anzeigegenauigkeit von 1,6 % des Skalenendwertes hergestellt.

Druckstöße sollen zur Schonung des Meßwerkes durch eine vor dem Meßgerät in die Leitung eingebaute Drossel so weit gedämpft werden, daß die Anzeige schwingungsfrei erfolgt.

2.13.2 Volumenmeßgeräte

2.13.2.1 Behälter-Meßverfahren

Der Volumenstrom eines Verdichters oder der am Ende einer Hauptleitung zur Verfügung stehende Volumenstrom kann mit Hilfe eines Behälters, dessen Volumen bekannt ist, gemessen werden. Der Behälter ist mit der Druckluftleitung zu verbinden und mit einem Ventil gegen die Leitung zu verschließen (Bild 2.158).

Die Messung beginnt mit einem Druck im Behälter, der unterhalb des Druckes der zu messenden Anlage liegt. Nach dem Öffnen des Ventiles ist die Zeit zu messen, die vergeht, bis im Behälter der Druck der Anlage erreicht ist. Da infolge des langsamen Druckanstieges im Behälter mit isothermer Zustandsänderung gerechnet werden kann, ist das in den Behälter einströmende Luftvolumen nach Gleichung 1.52 zu berechnen:

$$q_v = \frac{V_2 \cdot T_1 \cdot \Delta p}{p_{\text{abs},1} \cdot T_2 \cdot \Delta t} \quad (2.29)$$

q_v	Volumenstrom in m^3/s (Normzustand)
$p_{\text{abs},1}$	absoluter Druck der angesaugten Luft in bar
T_1	Temperatur der angesaugten Luft in K
V_2	Behältervolumen in m^3
T_2	Temperatur im Behälter in K
Δp	Druckanstieg in der Zeit Δt in bar
Δt	Aufladezeit des Behälters in s

Siehe dazu Beispiel 4.4.

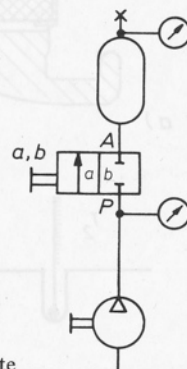


Bild 2.158

Behälter-Meßverfahren, Anordnung der Geräte

2.13.2.2 Ausfluß-Meßverfahren

Beim Ausströmen von Druckluft aus einer Leitung oder einem Behälter erreicht die Strömungsgeschwindigkeit ihren maximalen Wert (Schallgeschwindigkeit), wenn das Druckgefälle an der Ausströmöffnung den Wert $p_2/p_1 < 0,528$ (kritisches Druckgefälle) erreicht. Der Volumenstrom ist dann nur von der Austrittsöffnung und von Druck und Temperatur der Druckluft vor der Austrittsöffnung abhängig. Der Gegendruck hat keinen Einfluß auf die Ausströmgeschwindigkeit.

Bei dem von der Firma FMA Pokorny empfohlenen Ausfluß-Meßverfahren wird, wie in Bild 2.159 dargestellt, als Meßblende eine Scheibe von 10 mm Stärke mit einer geschliffenen Bohrung, deren Durchmesser maximal 12 mm betragen darf, verwendet. Die Kanten der Bohrung müssen absolut scharf und gratfrei sein. Druck und Temperatur sind möglichst nahe an der Blende zu messen.

Wird für trockene Luft die Gaskonstante $R = 29,27$ und für die Meßblende der aus Versuchen ermittelte Beiwert $\mu = 0,836$ zu Grunde gelegt, dann berechnet sich das ausströmende Luftvolumen:

$$q_v = 0,0458 \cdot d^2 \cdot \frac{p_{\text{abs},2} \cdot T_1}{p_{\text{abs},1} \cdot \sqrt{T_2}} \quad (2.30)$$

q_v Volumenstrom in m^3/min (Normzustand)

d Durchmesser der Meßblenden-Bohrung in cm

$p_{\text{abs},1}$ absoluter Druck der angesaugten Luft in bar

T_1 Temperatur der angesaugten Luft in K

$p_{\text{abs},2}$ absoluter Druck vor der Meßblende in bar

T_2 Temperatur vor der Meßblende in K

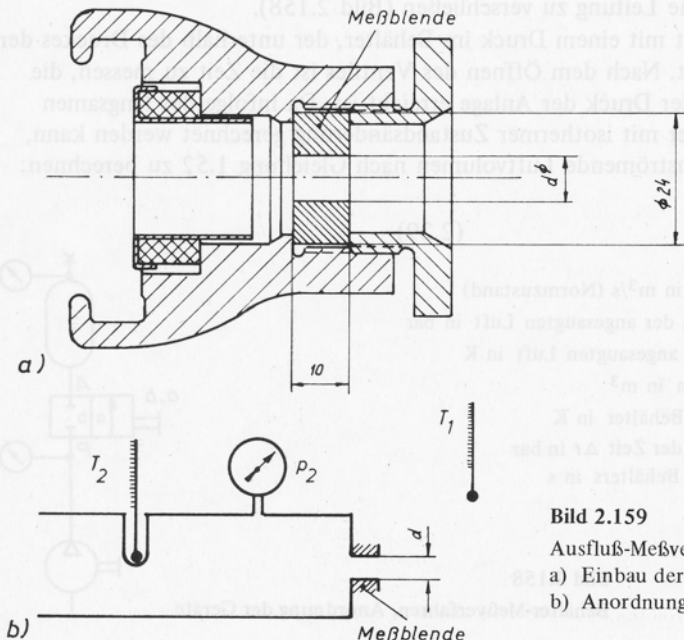


Bild 2.159

Ausfluß-Meßverfahren (FMA Pokorny)

a) Einbau der Meßblende in eine Kupplung

b) Anordnung der Meßeinrichtung

Setzt man in Gleichung 2.30 für die Temperatur $T_1 = T_2 = 295 \text{ K}$, so erhält man für überschlägige Berechnungen die sehr einfache Formel:

$$q_v = \frac{d^2 \pi}{4} p_{\text{abs},2} \quad (2.31)$$

- q_v Volumenstrom in m^3/min (Normzustand)
 d Durchmesser der Meßblenden-Bohrung in cm
 $p_{\text{abs},2}$ absoluter Druck vor der Meßblende in bar

Siehe dazu Beispiel 4.5.

2.13.2.3 Wirkdruck-Meßverfahren

Das in einem Rohr strömende Fluid erfährt durch eine Einengung des Rohrquerschnittes eine Geschwindigkeitserhöhung. Der dadurch verursachte Druckunterschied vor und nach der Einengung ($p_1 - p_2 = \Delta p = \text{Wirkdruck}$) dient zur Berechnung des Volumenstromes mit der Durchflußgleichung (2.32), wenn die in DIN 1952 festgelegten Konstruktionen für das Drosselgerät (Normblende oder Normdüse) und die durch Versuchsmessungen erarbeiteten Faktoren verwendet werden.

In Bild 2.160 ist die Anordnung der Geräte für die Durchflußmessung mit Drosselgeräten entsprechend VDE/VDI 3512 dargestellt.

Durchflußgleichung nach DIN 1952:

$$q_v = \alpha \cdot \epsilon \cdot m \cdot A_D \cdot \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (2.32)$$

- q_v Volumenstrom in m^3/s (Normzustand)
 α Durchflußzahl nach DIN 1952
 ϵ Expansionszahl nach DIN 1952

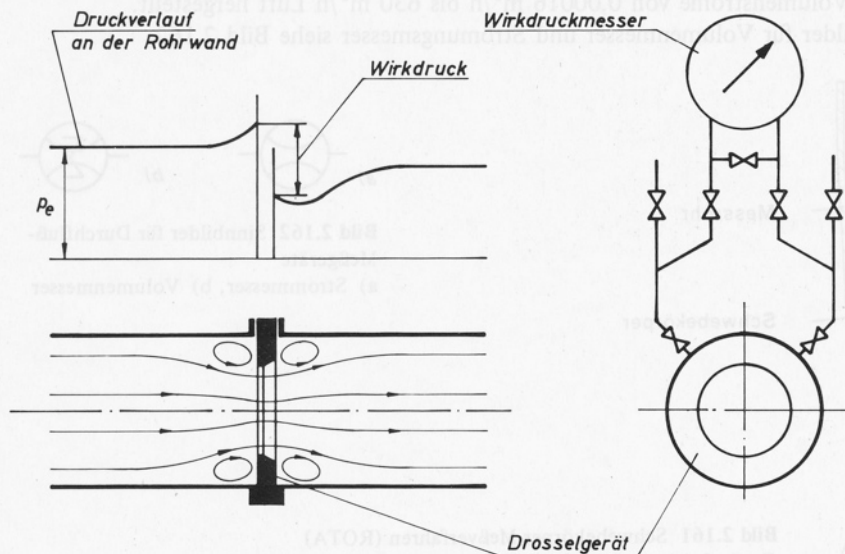


Bild 2.160 Wirkdruck-Meßverfahren, Schematische Darstellung der Geräteanordnung

m	Öffnungsverhältnis = $\frac{A_d}{A_D}$
A_D	Rohr Durchmesser in m
A_d	Blenden-Durchmesser (Drosselgerät) in m
Δp	Wirkdruck = $p_1 - p_2$ in Pa
p_1	Druck vor dem Drosselgerät in Pa
p_2	Druck nach dem Drosselgerät in Pa
ρ	Dichte des zu messenden Fluid vor dem Drosselgerät in kg/m ³

2.13.2.4 Schwebekörper-Meßverfahren

Bei Schwebekörper-Meßverfahren wird der Druckunterschied vor und nach einer variablen Einengung im Meßrohr zum Messen des Volumenstromes verwendet.

In einem senkrecht angeordneten Meßrohr, dessen Querschnitt sich nach oben erweitert, befindet sich ein, in Strömungsrichtung frei beweglicher, kegelförmiger Schwebekörper, der einen immer größeren Querschnitt frei gibt, je weiter er im Meßrohr hochsteigt. Die Druckluft durchfließt das Meßrohr von unten nach oben und hebt den Schwebekörper bei konstantem Volumenstrom so weit an, bis die Summe der am Schwebekörper wirkenden Kräfte gleich Null ist; d. h. das Gewicht des Schwebekörpers G ist gleich der Summe aus Auftriebskraft F_A (Gewicht der vom Schwebekörper verdrängten Luft) und der durch den Druckunterschied vor und nach dem Schwebekörper hervorgerufenen Kraft F_K (Bild 2.161). Die Steighöhe des Schwebekörpers steht also in direktem Zusammenhang mit dem Volumenstrom im Meßrohr.

Die Meßrohre sind mit einer geeichten Skala, die den Volumen- oder Massenstrom angibt, und mit einer mm-Skala versehen. Da die Meßrohre aus Glas sind, kann die Steighöhe des Schwebekörpers leicht mit der Skala am Meßrohr verglichen werden. Meßrohre werden für Volumenströme von 0,00016 m³/h bis 630 m³/h Luft hergestellt.

Sinnbilder für Volumenmesser und Strömungsmesser siehe Bild 2.162.

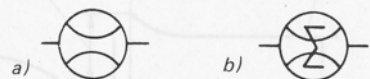
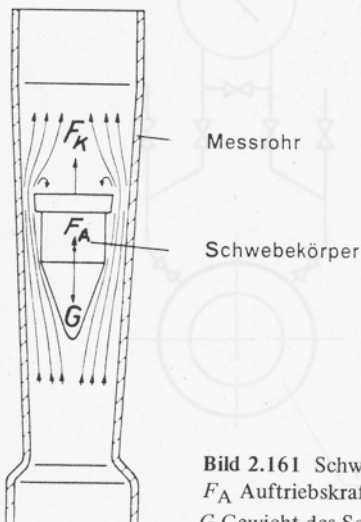


Bild 2.162 Sinnbilder für Durchfluß-Meßgeräte

a) Strömungsmesser, b) Volumenmesser

Bild 2.161 Schwebekörper-Meßverfahren (ROTA)

F_A Auftriebskraft, F_K von der Strömung hervorgerufene Kraft,

G Gewicht des Schwebekörpers

2.13.3 Längenmeßgeräte

2.13.3.1 Meßverfahren

Für die pneumatische Längenmessung stehen zwei Meßmethoden, die Druckmessung und die Durchflußmessung, zur Verfügung, wobei die zu messenden Längen immer einen Luftstrom direkt oder indirekt beeinflussen (siehe Meßfühler Abschnitt 2.13.3.5). In allen Fällen ist gereinigte, nicht geölte Druckluft zu verwenden, die durch einen Feindruckregler auf konstanten Druck zu halten ist.

2.13.3.2 Niederdruck-Meßverfahren

Die nach dem Niederdruck-Verfahren arbeitenden Meßgeräte verwenden als Meßwert die Druckschwankungen zwischen zwei Drosselstellen in einer mit Luft durchströmten Leitung (Bild 2.163). Die erste Drosselstelle, die Vordüse, ist im Meßgerät eingebaut, während die zweite Drosselstelle, die Meßdüse, im Meßfühler angebracht ist. Wird die Meßdüse (der Meßfühler) derart gegen das zu prüfende Werkstück gebracht, daß der Auströmquerschnitt von dem Umfang der Meßdüsenbohrung ($d \cdot \pi$) und dem Abstand vom Werkstück (H Meßspalt) gebildet wird, so kann die Abweichung des Ist-Maßes zum Soll-Maß, auf das die Einrichtung vorher geeicht worden ist, am Druckmesser abgelesen werden; denn jede Änderung des Abstandes H ruft eine Änderung des Druckes p_2 hervor. Der Druck p_2 variiert zwischen dem Druck p_1 bei dem Meßabstand $H = 0$ und dem Druck $p_{2\min}$ bei vollkommen offener Meßdüse. In dem Diagramm Bild 2.164 ist der Zusammenhang zwischen dem Druck p_2 (Staudruck zwischen den Düsen) und dem Meßdüsenabstand H dargestellt. Daraus geht hervor, daß ein Teil dieser Kurve geradlinig verläuft, d. h. in diesem Bereich ruft eine Veränderung von H eine proportionale Änderung des Druckes p_2 hervor. Maßänderungen im linearen Bereich der Kurve können daher direkt als Meßwert am Druckmesser abgelesen werden; wobei Meßwertvergrößerungen zwischen 3 000 und 25 000-fach möglich sind, d. h. Abweichungen von $1\text{ }\mu\text{m}$ am Werkstück erscheinen am Druckmesser maximal als 25 mm.

Voraussetzung für das einwandfreie Arbeiten des Meßgerätes ist, daß der Vordüse Luft mit konstantem Druck zugeführt wird. Das wird mit einem sehr einfachen Druckregler erreicht, der aus einem Tauchrohr besteht, das eine bestimmte Tiefe, meist 500 mm,

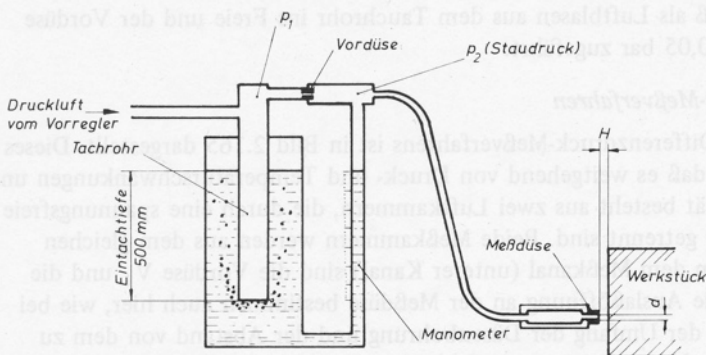


Bild 2.163 Niederdruck-Meßverfahren (Nieberding)

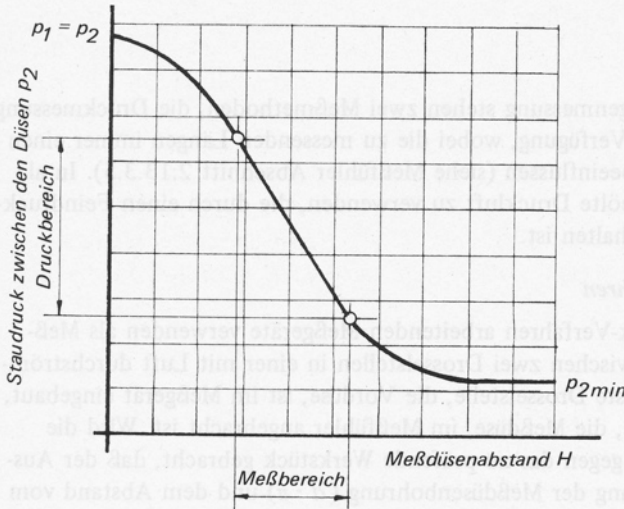


Bild 2.164

p,H-Diagramm zur Niederdruck-Messung

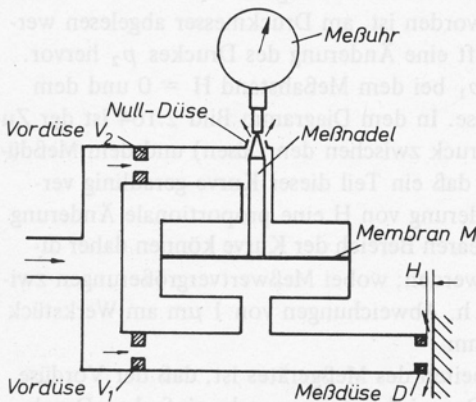


Bild 2.165

Differenzdruck-Meßverfahren

in Wasser eingetaucht wird. Beträgt der Eingangsdruck mehr als 0,05 bar (50 mbar) so entweicht der Überschluß als Luftblasen aus dem Tauchrohr ins Freie und der Vordüse wird nur Druckluft mit 0,05 bar zugeführt.

2.13.3.3 Differenzdruck-Meßverfahren

Das Prinzip eines Differenzdruck-Meßverfahrens ist in Bild 2.165 dargestellt. Dieses System hat den Vorteil, daß es weitgehend von Druck- und Temperaturschwankungen unabhängig ist. Das Meßgerät besteht aus zwei Luftkammern, die durch eine spannungsfreie Membran M voneinander getrennt sind. Beide Meßkammern werden aus dem gleichen Druckluftnetz gespeist. In dem Meßkanal (unterer Kanal) sind die Vordüse V_1 und die Meßdüse D eingebaut. Die Auslaßöffnung an der Meßdüse bestimmen auch hier, wie bei den Niederdruckgeräten, der Umfang der Düsenbohrung und der Abstand von dem zu messenden Werkstück. In der Meßkammer stellt sich ein der Auslaßöffnung entsprechender Druck ein.

Im Regelkanal (oberer Kanal) sind die Vordüse V_2 und die Nulldüse eingebaut. Der Querschnitt der Nulldüse ist von der Stellung einer konischen Nadel abhängig, die im Augenblick der Messung, geführt durch die Membran, die Stellung einnimmt, die den gleichen Druck in beiden Meßkammern gewährleistet. Dem Austrittsquerschnitt an der Meßstelle entspricht eine genau bestimmte Stellung der Meßnadel, mit der das Druckgleichgewicht wieder hergestellt wird. Es entspricht daher jedem Wert von H eine bestimmte Stellung der Meßnadel. Diese Stellung wird auf eine Meßuhr übertragen und durch deren Ausschlag läßt sich die Größe H genau ermitteln. Diese Differenzdruck-Meßgeräte arbeiten nach dem Prinzip der pneumatischen Wheatstone'schen Brücke, ergänzt durch die Nullmethode.

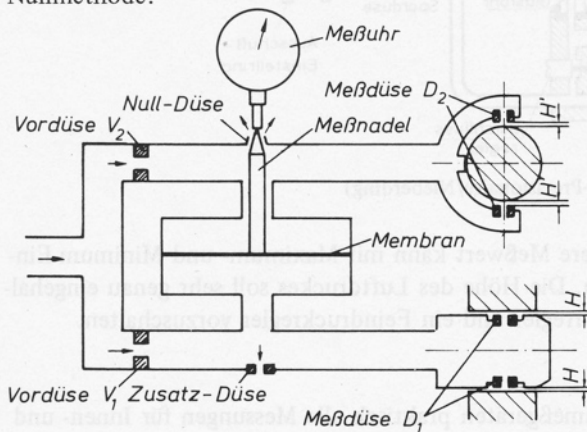


Bild 2.166

Differenzdruck-Meßverfahren
(Prinzip – Vergleichsmessung)

Mit dem in Bild 2.166 schematisch dargestellten Meßgerät kann die Differenz von zwei zu messenden Größen unabhängig von der absoluten Größe gemessen werden. Der untere Kanal mißt die Größe H ohne sie anzuzeigen, der obere Kanal mißt den Wert H' und vergleicht ihn mit H . An der Meßuhr kann die Differenz der gemessenen Größen abgelesen werden. Diese Geräte eignen sich zur Paarungsmessung z. B. zum Vermessen von Bohrungen und Bolzen, die zusammengeführt werden.

Da der Konus der Meßnadel keiner mechanischen Abnützung unterliegt, kann ein gegebener Meßwert jederzeit wiederholt werden. Unabhängig vom Eingangsdruck befindet sich die Membran immer zwischen zwei gleichen Drücken und wird bei hohem Druck genau so wenig wie bei niedrigem beansprucht. Als Vorteil kann bei diesen Geräten auch die Selbstreinigung der Düsen durch den höheren Luftdruck angesehen werden. Der Eingangsdruck kann daher den Arbeitsbedingungen angepaßt werden, d. h. gereinigte Werkstücke mißt man mit 3 ... 4 bar und steigert den Eingangsdruck je nach Verschmutzung der Werkstücke bis 7 bar.

2.13.3.4 Volumen-Meßverfahren

In Bild 2.167 ist ein Volumenmeßgerät dargestellt. Bei diesen Geräten wird das aus der Meßdüse ausströmende Luftvolumen mit einem Schwebekörper-Meßgerät (siehe Abschnitt 2.13.2.4) gemessen. Dieses Meßverfahren ist wie das Niederdruckverfahren rein pneumatisch, d. h. bei der Erfassung des Meßwertes wirken keine mechanischen Übertra-

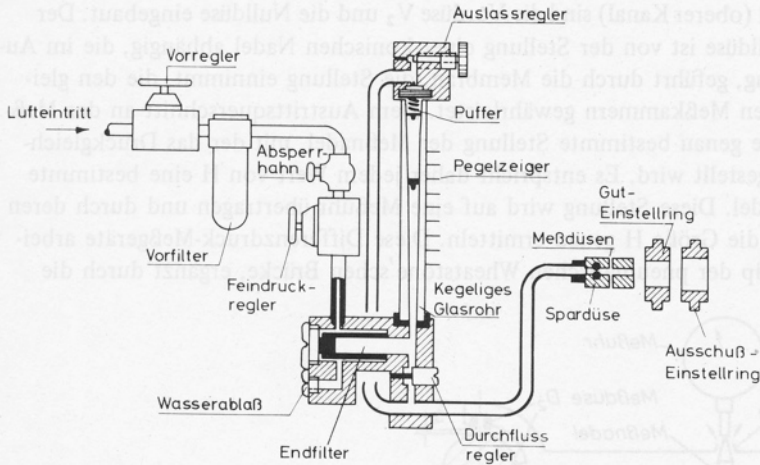


Bild 2.167 Volumen-Meßgerät (Sheffield-Precisionaire/Nieberding)

gungsmittel mit. Der obere und untere Meßwert kann mit Maximum- und Minimum-Einstellehren jederzeit überprüft werden. Die Höhe des Luftdruckes soll sehr genau eingehalten werden, es ist dem Gerät ein Vorregler und ein Feindruckregler vorzuschalten.

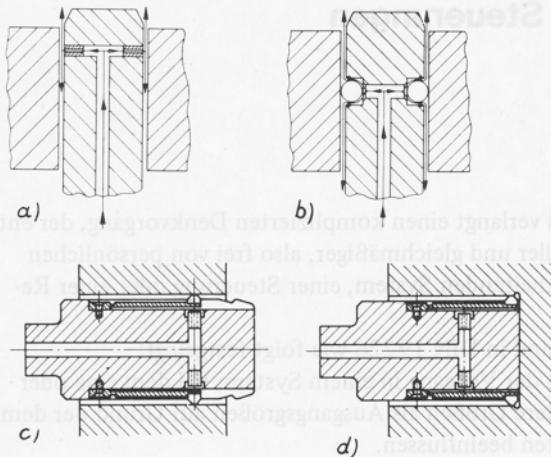
2.13.3.5 Meßfühler

Da mit pneumatischen Längenmeßgeräten praktisch alle Messungen für Innen- und Außenmaße durchgeführt werden können, sind eine Vielzahl von Meßfühlern entwickelt worden, von denen hier nur die Grundprinzipien besprochen werden können.

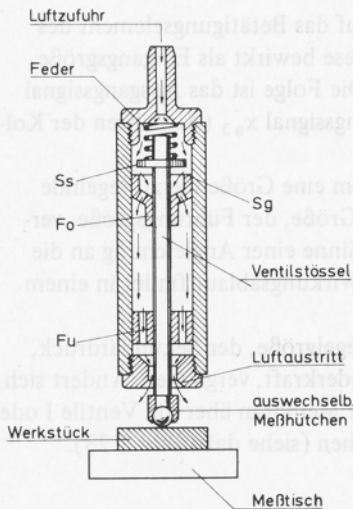
Der Düsendorn nach Bild 2.168a eignet sich zur Durchmesserbestimmung von Bohrungen. Durch Drehen und Verschieben des Dornes in der Bohrung kann auch die zylindrische Form (Rundheit und Konizität) gemessen werden. Die zwei gegenüberliegenden Düsen stehen in selbsttätigem Ausgleich, d. h. nähert sich die eine Düse der Bohrungswand und läßt weniger Luft austreten, so entfernt sich die gegenüberliegende Düse um den gleichen Betrag und läßt somit mehr Luft ausströmen. Die aus beiden Düsen ausströmende Luft ergibt den Meßwert.

Kugelkontaktdorne (Bild 2.168b) eignen sich besonders zum Vermessen von rauen, porösen oder unterbrochenen Bohrungen. Während beim normalen Düsendorn die Düsen das Werkstück direkt anblasen, sind bei diesem Meßdorn Kugeln zwischengeschaltet, so daß eine punktförmige Messung erfolgt und der Einfluß der Oberflächenrauheit vermieden wird. Die Kugeln werden während des Messens durch den Luftdruck an die Werkstückoberfläche gedrückt und rollen beim Verschieben des Dornes in der Bohrung ab. Sie unterliegen deshalb keinem nennenswerten Verschleiß.

Federkontaktdorne nach Bild 2.168c eignen sich wie die Kugelkontaktdorne zum Messen von Bohrungen mit rauen, porösen oder unterbrochenen Oberflächen. Sie können jedoch auch wie in Bild 2.168d dargestellt, zum Messen von Sacklochbohrungen verwendet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, daß sich nur die halbe Übersetzung wie bei den anderen Meßdornen ergibt.

**Bild 2.168****Meßfühler (Nieberding)**

- a) Düsensporn
- b) Kugelkontaktdorn
- c) Federkontaktdorn (Übersetzung 1:1)
- d) Federkontaktdorn (Übersetzung 2:1)

**Bild 2.169 Feintaster (Nieberding)**

Ein pneumatischer Feintaster ist in Bild 2.169 dargestellt. Die Ventilsitzfläche des Stößels Ss legt sich unter Federdruck im Ruhestand fest gegen die Sitzfläche des Gehäuses Sg. Die vom Anzeigegerät durch einen biegsamen Schlauch zugeführte Druckluft kann nicht entweichen, der Staudruck steigt auf seinen Höchstwert. Wird der in der Führung Fo und Fu geführte Stößel angehoben, so öffnet sich der Ventilsitz, Druckluft entweicht und der Staudruck im Anzeigegerät sinkt entsprechend dem Öffnungsquerschnitt.

Pneumatische Feintaster werden als Normteile hergestellt und können in allen Meßeinrichtungen wie Rachenlehren oder Meßständer eingebaut werden. Auf Grund der schlanken Bauweise können auch mehrere dicht nebeneinander liegende Stellen gleichzeitig gemessen werden.

3 Aufbau pneumatischer Steuerungen

3.1 Allgemeines

Der Ablauf eines Arbeitsprozesses verlangt einen komplizierten Denkvorgang, der entweder von einem Menschen, oder schneller und gleichmäßiger, also frei von persönlichen Einflüssen, von einem informationsverarbeitenden System, einer Steuerung oder einer Regelung ausgeführt wird.

Die Begriffe Steuern und Regeln sind in DIN 19 226 wie folgt festgelegt:

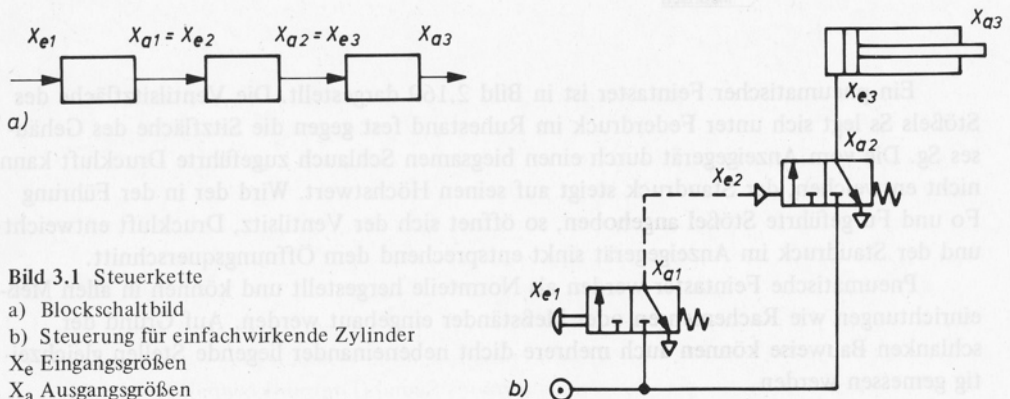
Das Steuern – die Steuerung – ist der Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen auf Grund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen.

Kennzeichen für das Steuern ist der offene Wirkungsablauf über das einzelne Übertragungsglied oder die Steuerkette.

Beispiel (Bild 3.1): Die Eingangsgröße x_{e1} (Druck auf das Betätigungselement des 3/2-Wegeventils) erzeugt die Ausgangsgröße x_{a1} , diese bewirkt als Eingangsgröße x_{e2} (Drucksignal) das Umschalten des Stellgliedes. Die Folge ist das Ausgangssignal x_{a2} , das wiederum als Eingangssignal x_{e3} das Ausgangssignal x_{a3} (Ausfahren der Kolbenstange) bewirkt.

Das Regeln – die Regelung – ist ein Vorgang, bei dem eine Größe die zu regelnde Größe (Regelgröße) fortlaufend erfaßt, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und abhängig vom Ergebnis dieses Vergleiches im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflußt wird. Der sich dabei ergebende Wirkungsablauf findet in einem geschlossenen Kreis, dem Regelkreis, statt.

Beispiel (Bild 3.2): Beim Druckluftregler wird die Regelgröße, der Sekundärdruck, ständig gemessen und mit der Führungsgröße, der Federkraft, verglichen. Ändert sich der Sekundärdruck, wird durch die Verschiebung der Membran über die Ventile I oder II der Sekundärdruck an die Führungsgröße angeglichen (siehe dazu Bild 2.23).



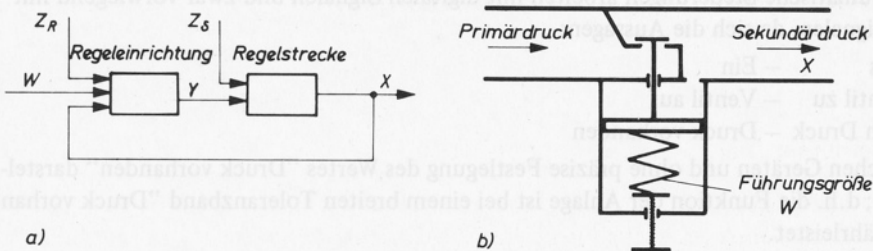


Bild 3.2 Regelkreis

a) Blockschaltbild, b) Druckluftregler

W Führungsgröße, Z_R , Z_S Störgrößen, Y Stellgröße, X Regelgröße

analog	diskret		
	digital	binär	ternär

Bild 3.3 Definition der Signale

Die Informationen, die einer pneumatischen Steuerung angeboten werden (Eingangssignale), um den vorgesehenen Steuerungsablauf verwirklichen zu können, und die Informationen, die eine pneumatische Steuerung an den energetischen Teil der Anlage weitergibt (Ausgangssignale), sind Drucksignale. Die Kenngröße der Signale, der Druckwert, wird Signalparameter genannt.

Ändert sich ein Drucksignal innerhalb seines vorgegebenen Bereiches kontinuierlich, und sind jedem Druckwert unterschiedliche Informationen zugeordnet, so spricht man von einem analogen Signal. Mit analogen Signalen wird vorwiegend in der Regelungstechnik gearbeitet (Bild 3.3).

Ein Signal, dessen Amplitude sich in Sprüngen ändert, d.h. nicht zusammenhängende Werte annimmt, bezeichnet man als diskretes Signal (Bild 3.3).

Ändert sich der Wert eines Signales derart, daß er das ein- oder mehrfache einer definierten Grundeinheit annimmt, so spricht man von einem digitalen Signal. Kann ein digitales Signal nur zwei verschiedene Werte annehmen, dann bezeichnet man es als binäres Signal (Zweipunktsignal), bei drei Werten als ternäres Signal (Dreipunktsignal) (Bild 3.3).

Pneumatische Steuerungen arbeiten mit digitalen Signalen und zwar vorwiegend mit binären Signalen, da sich die Aussagen:

Aus	— Ein
Ventil zu	— Ventil auf
kein Druck	— Druck vorhanden

mit einfachen Geräten und ohne präzise Festlegung des Wertes "Druck vorhanden" darstellen lassen; d.h. die Funktion der Anlage ist bei einem breiten Toleranzband "Druck vorhanden" gewährleistet.

Die meisten Arbeitsprozesse verlangen Steuerungen mit zwangsläufigem schrittweisen Arbeitsablauf, d.h. das Weitschalten von einem Schritt auf den programmgemäß folgenden ist von bestimmten Bedingungen abhängig. Steuerungen dieser Art werden Ablaufsteuerungen (sequentiell control) genannt (DIN 19237).

Bei zeitgeführten Ablaufsteuerungen (time-oriented sequentiell control) werden die Weitschaltbedingungen nur von Signalen abhängig gemacht, die von Zeitgliedern, Zählern oder Schaltwalzen abgegeben werden.

Prozeßabhängige Ablaufsteuerungen (process-oriented sequentiell control) erhalten die Signale für die Weitschaltbedingungen von der gesteuerten Anlage, z.B. vom zurückgelegten Weg (der Stellung) eines bewegten Teiles der gesteuerten Anlage (Wegplansteuerung nach DIN 19226).

Alle Steuerungen, die mit binären Signalen arbeiten, lassen sich durch die Verknüpfungsglieder UND ODER NICHT darstellen und sind in Gleichungen der Schaltalgebra eindeutig zu beschreiben. Steuerungen dieser Art werden Verknüpfungssteuerungen genannt. Sie finden Verwendung für die steuerungstechnische Lösung der Startvoraussetzung und der Betriebsarten — Einzelschaltung, Automatik und Gefahrenabschaltung —, die neben der Ablaufsteuerung in einer vollständigen Einrichtungs- oder Maschinensteuerung notwendig sind.

Beim Aufbau einer pneumatischen Steuerung kann entsprechend dem in Bild 3.4 dargestellten Ablaufplan vorgegangen werden:

Nach dem Formulieren des Problems sind vom Konstrukteur Weg-Schritt-Diagramm, Anlageschema und Programmablaufplan oder Funktionsplan zu entwickeln, wodurch allen an der Planung und an der Ausführung der Einrichtung Beteiligten (Maschinenbauer, Pneumatiker, Hydrauliker, Elektriker) Unterlagen für die gegenseitige Verständigung gegeben sind.

Im Weg-Schritt-Diagramm ist die Bewegungsfolge der Antriebsglieder (Arbeitsglieder), die Zuordnung der Signalglieder zu den Antriebsgliedern und der Signalfluß darzustellen.

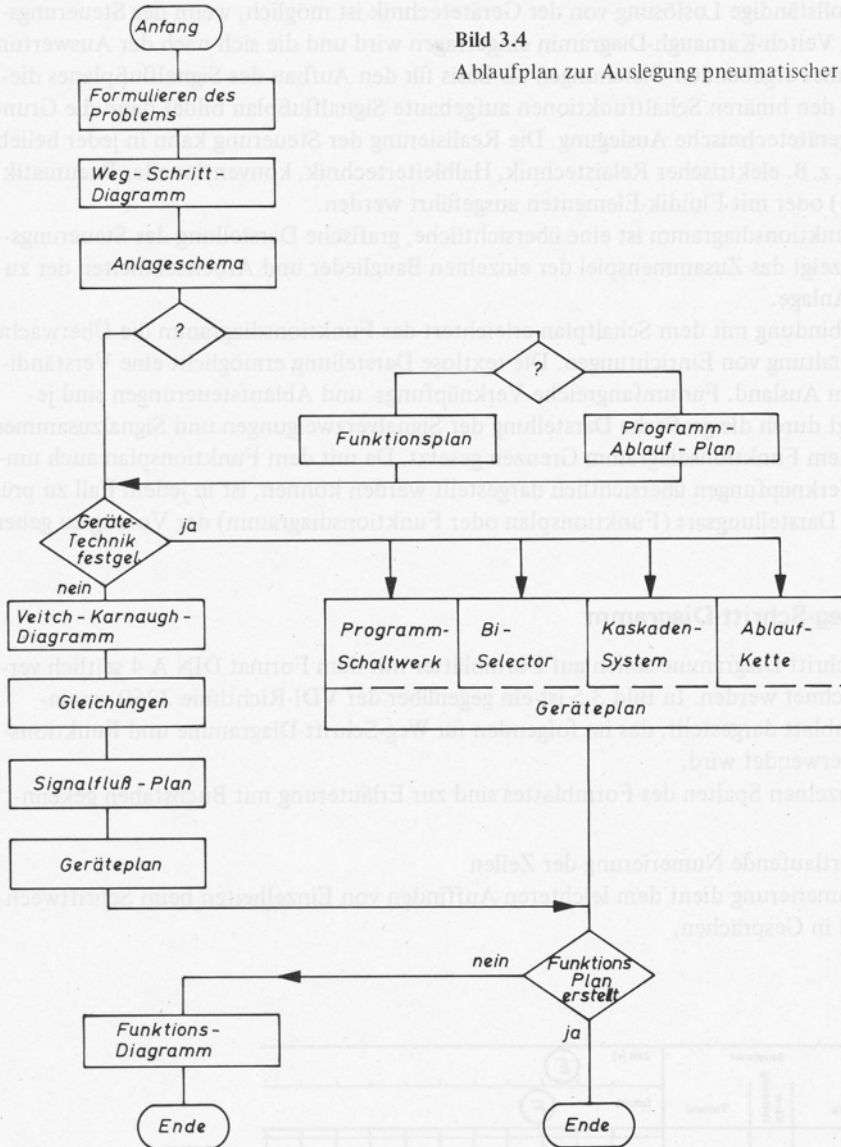
Das Anlageschema soll als Situations-Skizze die Lage der Arbeitsglieder, der Antriebsglieder und der Signalglieder darstellen. Die Darstellung soll übersichtlich sein und nur die wichtigsten Elemente der Anlage enthalten.

Der Programmablaufplan, von der Datenverarbeitung übernommen, ermöglicht es, den Steuerungsablauf für eine Anlage mit allen Signal- und Kontrollfunktionen übersichtlich und unabhängig von der Gerätetechnik darzustellen.

Eine ähnliche Funktion wie der Programmablaufplan erfüllt der Funktionsplan; auch er dient der Darstellung eines Steuerungsablaufes unabhängig von der Gerätetechnik. Die Einteilung des Arbeitsablaufes in einzelne zwangsläufig ablaufende Schritte und die Zuordnung der Signale für die Weitschaltbedingungen von Schritt zu Schritt, machen den Funktionsplan besonders geeignet für die Darstellung von Ablaufsteuerungen.

Bild 3.4

Ablaufplan zur Auslegung pneumatischer Steuerungen



Im Funktionsplan kann eine Steuerungsaufgabe mit ihren wesentlichen Eigenschaften als Grobstruktur oder mit allen Einzelheiten als Feinstruktur übersichtlich und eindeutig dargestellt werden.

Entscheidet man sich für ein bestimmtes Gerätesystem, z.B. Programmschaltwerk, Bi-Selector, Aufbau der Steuerung nach dem Kaskaden-System oder Ablaufkette, so wird gleichzeitig mit dem Aufbau der Steuerung der Geräteplan erstellt.

Eine vollständige Loslösung von der Gerätetechnik ist möglich, wenn der Steuerungsablauf in ein Veitch-Karnaugh-Diagramm eingetragen wird und die sich nach der Auswertung des Diagrammes ergebenden Gleichungen als Basis für den Aufbau des Signalflußplanes dienen. Der aus den binären Schaltfunktionen aufgebaute Signalflußplan bildet dann die Grundlage für die gerätetechnische Auslegung. Die Realisierung der Steuerung kann in jeder beliebigen Technik, z. B. elektrischer Relaistechnik, Halbleitertechnik, konventioneller Pneumatik (Wegeventile) oder mit Fluidik-Elementen ausgeführt werden.

Das Funktionsdiagramm ist eine übersichtliche, grafische Darstellung des Steuerungsablaufes. Es zeigt das Zusammenspiel der einzelnen Bauglieder und Arbeitseinheiten der zu steuernden Anlage.

In Verbindung mit dem Schaltplan erleichtert das Funktionsdiagramm die Überwachung und Instandhaltung von Einrichtungen. Die textlose Darstellung ermöglicht eine Verständigung mit dem Ausland. Für umfangreiche Verknüpfungs- und Ablaufsteuerungen sind jedoch, bedingt durch die grafische Darstellung der Signalverzweigungen und Signalzusammenführungen, dem Funktionsdiagramm Grenzen gesetzt. Da mit dem Funktionsplan auch umfangreiche Verknüpfungen übersichtlich dargestellt werden können, ist in jedem Fall zu prüfen, welcher Darstellungsart (Funktionsplan oder Funktionsdiagramm) der Vorzug zu geben ist.

3.2 Das Weg-Schritt-Diagramm

Weg-Schritt-Diagramme sollen auf Formblätter mit dem Format DIN A 4 seitlich verlängert gezeichnet werden. In Bild 3.5 ist ein gegenüber der VDI-Richtlinie 3260 vereinfachtes Formblatt dargestellt, das im folgenden für Weg-Schritt-Diagramme und Funktionsdiagramme verwendet wird.

Die einzelnen Spalten des Formblattes sind zur Erläuterung mit Buchstaben gekennzeichnet:

Spalte A: Fortlaufende Numerierung der Zeilen

Die Numerierung dient dem leichteren Auffinden von Einzelheiten beim Schriftwechsel und in Gesprächen.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	Bauglieder			Zeit [s]	Schritt
	Benennung	Kennzeichnung	Zustand		

Bild 3.5 Formblatt für Weg-Schritt-Diagramme und Funktions-Diagramme

Spalte B: Benennung (sonstige Daten)

Hier können die Bauglieder benannt und Anschlußwerte angegeben werden. Bei Bedarf können auch Hinweise zur Funktion gegeben werden, z.B. Doppeltwirkender Zylinder, Durchmesser 50, Hub 100, Spannen; Einfachwirkender Zylinder, Durchmesser 20, Hub 15, Auswerfen.

Spalte C: Kennzeichnung

Hier werden die Bauglieder mit ihrer Kurzbezeichnung angegeben. Entweder mit der laufenden Gerätenummer oder mit der Kennzeichnung S für Signalglieder, Y für Speicher, Z für Zylinder und M für Motoren.

Spalte D: Zustand

Hier werden die Zustände der im Feld G durch Funktionslinien dargestellten Bauglieder angegeben, z.B. für Ventile Schaltstellung a, b, c, für Motoren ein, aus; für Zylinder eingefahren, ausgefahren.

Zeile E: Zeit (s)

Einteilung für Zeitangabe.

Zeile F: Schritt

Einteilung für Schrittangabe.

Feld G: Das Feld ist durch waagrechte Linien (Zeilen) und senkrechte Linien in einen

Raster eingeteilt, in dem der Arbeitsablauf durch Funktions- und Signal-Linien dargestellt wird. Die Schritte werden über den senkrechten Linien eingetragen, wobei jede Zustandsänderung eines Gerätes als Schritt bezeichnet wird. Die Schritte sind vorzugsweise linear aufzutragen. Sind die Zeiten zwischen den einzelnen Schritten bekannt, so kann in den Zeitmaßstab über der Schrittbezeichnung der zeitliche Ablauf des Arbeitstaktes eingetragen werden. Die Funktionslinien kennzeichnen den Zustand und den Bewegungsablauf einer Baueinheit (Antriebsglied). Stetige Vorgänge, z.B. das Aus- und Einfahren einer Kolbenstange, werden durch schräge Funktionslinien entsprechend den beiden Koordinaten Weg und Schritt dargestellt. In Bild 3.6 sind einige Darstellungsmöglichkeiten von Kolbenstangenbewegungen aufgezeigt.

Im Gegensatz dazu werden die Schaltstellungen der Ventile, als unstetige Vorgänge, durch waagrechte Linien dargestellt (Bild 3.7). Das Umschalten von einer Schaltstellung in die andere wird durch eine senkrechte Verbindungslinie auf der Schritthilfslinie, zwischen den Schaltstellungen dargestellt.

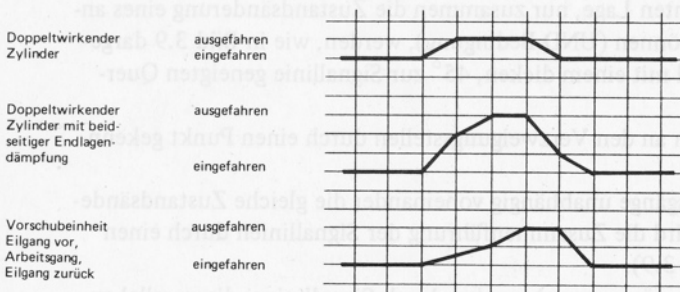


Bild 3.6 Darstellung der Funktionslinien für Antriebsglieder

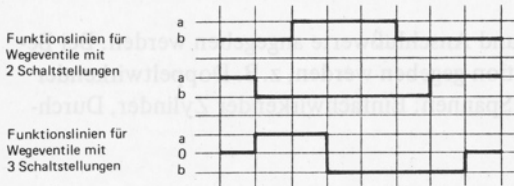


Bild 3.7

Darstellung der Funktionslinien für Ventile

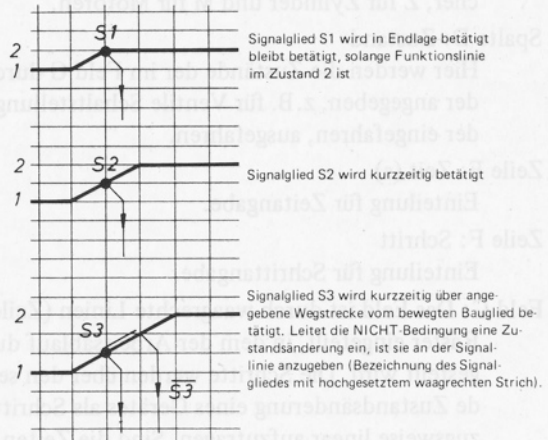
Signalglieder manuell betätigt



Bild 3.8

Sinnbilder für Signalglieder

Signalglieder mechanisch betätigt



Im Weg-Schritt-Diagramm soll der Arbeitsablauf nur durch die Funktionslinien der Antriebsglieder, durch die Sinnbilder der Signalglieder und durch die Signallinien dargestellt werden. Eine Darstellung des Arbeitsablaufes mit allen Geräten (Antriebs-, Stell-, Steuer- und Signalglieder) bleibt dem Funktions-Diagramm vorbehalten.

Manuell betätigte Signalglieder werden durch die Sinnbilder nach Bild 3.8 dargestellt. Sie stehen am Anfang des Arbeitstaktes und belegen die Schritte X1 ... Xn.

Mechanisch betätigte Signalglieder werden durch Punkte dargestellt, die entsprechend den in Bild 3.9 gemachten Angaben eingezeichnet werden.

Die Signallinien geben die Abhängigkeit der verschiedenen Bauglieder an, die Pfeile kennzeichnen die Wirkungsrichtung der Signale. Signallinien, welche Bauglieder verbinden, die in einer bestimmten Lage, nur zusammen die Zustandsänderung eines anderen Baugliedes einleiten können (UND-Bedingung), werden, wie in Bild 3.9 dargestellt, zusammengeführt und mit einem dicken, 45° zur Signallinie geneigten Querstrich markiert.

Signalverzweigungen werden an den Verzweigungsstellen durch einen Punkt gekennzeichnet.

Bewirken mehrere Signalausgänge unabhängig voneinander die gleiche Zustandsänderung (ODER-Bedingung), wird die Zusammenführung der Signallinien durch einen Punkt gekennzeichnet (Bild 3.9).

Zeitabhängige Vorgänge (Verzögerungen) werden durch Signallinien, die parallel zu den Zeilen verlaufen dargestellt und mit dem Funktionszeichen τ in einem, in die

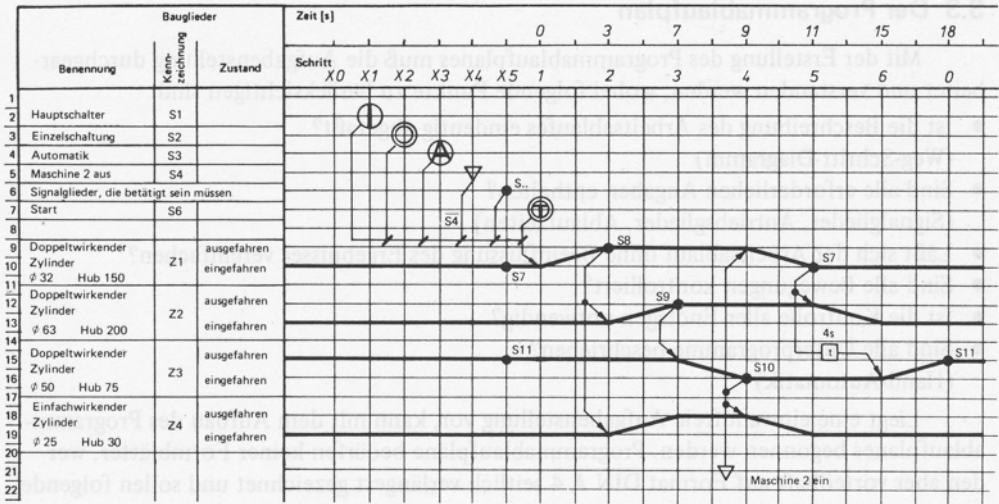
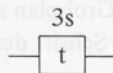


Bild 3.9 Weg-Schritt-Diagramm

Signallinie eingesetzten Rechteck, gekennzeichnet (Bild 3.9). Ist die Verzögerungszeit bekannt, kann sie in den Zeitmaßstab der Zeile E oder neben dem in die Signallinie eingesetzten Rechteck eingetragen werden, z. B.



Signale, die von anderen Maschinen kommen oder zu anderen Maschinen gehen, werden durch Dreiecke $\triangle$, die am Anfang oder am Ende der Signallinie stehen, gekennzeichnet (Bild 3.9).

Zur Kennzeichnung einer NICHT-Bedingung ist die Signalliedbezeichnung mit einem hochgestellten waagerechten Strich ($\bar{S}2$) zu kennzeichnen und am Markierungspunkt des Signalliedes oder an der Signallinie einzutragen (Bild 3.9).

Startvoraussetzungen

Der Arbeitstakt einer Einrichtung beginnt erst, wenn alle festgelegten Startvoraussetzungen erfüllt sind. Sie sind meist durch Einschaltvorgänge gegeben, die die Einrichtung von der Ruhestellung $X0$ über die Schrittweise Eingabe von Signalen ($X1$ bis Xn) in die Ausgangsstellung bringen (Bild 3.9). Als Ruhestellung $X0$ ist der Zustand "Anlage ist energie-los" angenommen.

Der Arbeitsablauf beginnt nach Eingabe des Startsignales im Schritt 1 (Zeit 0) und endet im Schritt n.

Wird nur ein Arbeitstakt ausgeführt und der nachfolgende Arbeitstakt durch Signaleingabe von der Bedienungsperson eingeleitet, wird der letzte Schritt mit 0 bezeichnet.

Läuft nach Beendigung des letzten Schrittes "n" der nächste Arbeitsablauf automatisch weiter, wird der letzte Schritt, der gleichzeitig der Anfang des nächsten Arbeitstaktes ist, mit 1 bezeichnet.

3.3 Der Programmablaufplan

Mit der Erstellung des Programmablaufplanes muß die Aufgabenstellung durchgearbeitet und verstanden werden, wobei folgende Punkte zu berücksichtigen sind:

- Ist die Beschreibung des Arbeitsablaufes eindeutig abgefaßt?
(Weg-Schritt-Diagramm)
- Sind alle erforderlichen Angaben enthalten?
(Signalglieder, Antriebsglieder, Ablaufzeiten)
- Läßt sich der Arbeitsablauf ohne Beeinflussung des Ergebnisses vereinfachen?
- Sind alle Bewegungen kontrolliert?
- Ist die Kontrolle aller Endlagen notwendig?
- Sind alle Unterprogramme beschrieben?
(Hand-Automatik)

Liegt eine einwandfreie Aufgabenstellung vor, kann mit dem Aufbau des Programmablaufplanes begonnen werden. Programmablaufpläne bedürfen keiner Formblätter, werden aber vorteilhaft auf Format DIN A 4 seitlich verlängert gezeichnet und sollen folgende Bedingungen erfüllen:

- Darstellung der Reihenfolge der einzelnen Steuerungsschritte.
- Darstellung der Aufgabe mit genormten Sinnbildern nach DIN 66001 (Bild 3.10) und beschreibendem Text.
- Darstellung von mehrfach verwendeten Unterprogrammen.
- Darstellung aller Entscheidungen.

Der Programmablaufplan wird zunächst als Grobplan aufgestellt und kann dann bis zum Feinplan weiterentwickelt werden, der jeden Schritt des Steuerungsablaufes, jede Entscheidung und jedes Unterprogramm enthält.

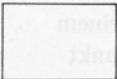
Sinnbild	Benennung	Erklärung zur Anwendung	Sinnbild	Benennung	Erklärung zur Anwendung
	Operation	Alle selbsttätig ablaufenden Vorgänge: Spannvorrichtung schließen, Bohrvorschub, Teil auswerfen, usw.		Ablauflinie	Die Ablaufrichtung ist mit einer Pfeilspitze zu kennzeichnen.
	Verzweigung	Alle Entscheidungen die mit ja – nein beantwortet werden		Zusammenführung	Zusammenführungen und Verzweigungen sind durch einen Punkt und eine Pfeilspitze zu kennzeichnen
	Unterprogramm	Wird ein Abschnitt der Steuerung mehrmals wiederholt, kann er durch dieses Sinnbild vereinfacht werden		Verzweigung	
	Operation von Hand	Einlegen und Herausnehmen von Werkstücken		Übergangsstelle	Der Übergang kann von mehreren Stellen aus, aber nur zu einer Stelle hin erfolgen. Zusammengehörige Übergangsstellen müssen gleiche Bezeichnung tragen
	Eingabe Ausgabe	Alle von Hand auszuführenden Schaltfunktionen		Grenzstelle	Hiermit werden Anfang und Ende des Ablaufes dargestellt
				Bemerkung	Dieses Sinnbild kann jedem anderen Sinnbild beigelegt werden

Bild 3.10 Sinnbilder für Programmabläufe nach DIN 66 001

Zur zeichnerischen Darstellung des Grobplanes genügen 3 Sinnbilder, nämlich "Operation, Verzweigung, Ablauflinie". Alle weiteren Sinnbilder dienen zur detaillierten Darstellung (Bild 3.10). Die Größe der Sinnbilder kann dem jeweiligen Anwendungsfall entsprechend gewählt werden, die vorgegebenen Seiten und Winkelverhältnisse sollen möglichst eingehalten werden.

In Bild 3.11 ist der Programmablaufplan für eine allgemein verständliche Tätigkeit dargestellt.

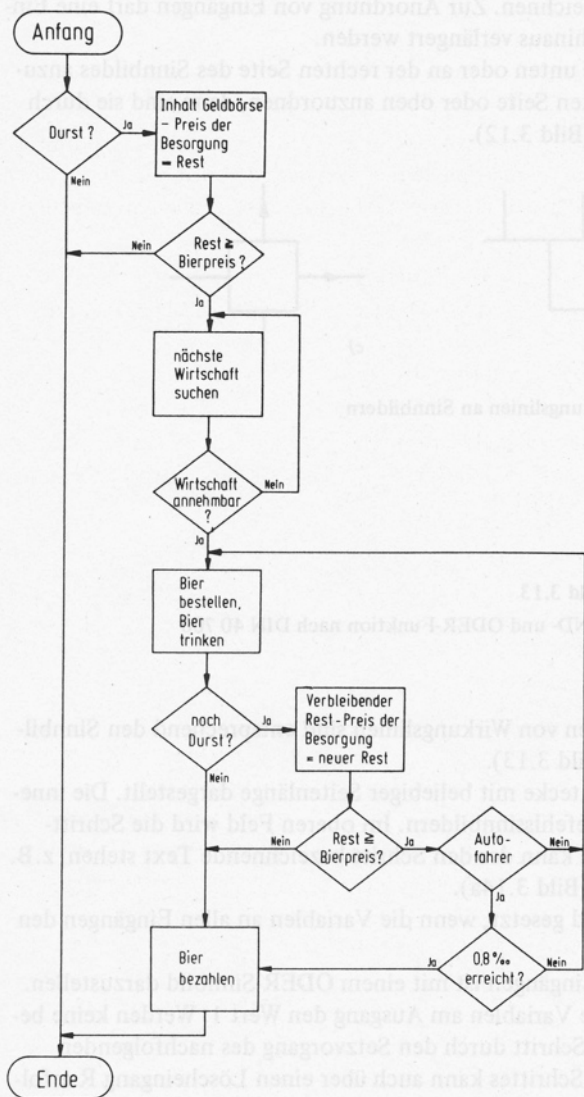


Bild 3.11
Programmablaufplan

3.4 Der Funktionsplan

Der Funktionsplan ist eine prozeßorientierte Darstellung eines Steuerungsablaufes, unabhängig von der Gerätetechnik. Regeln und Sinnbilder für die Anfertigung von Funktionsplänen sind in DIN 40719 Teil 6 festgelegt.

Der Informationsfluß ist bevorzugt von oben nach unten darzustellen und wird durch die Wirkungslinien, die Verbindungslinien zwischen den Sinnbildern, gekennzeichnet.

Die Eingänge der Wirkungslinien an den Sinnbildern sind vorzugsweise oben oder an der linken Seite anzuordnen. Sind die Eingänge unten oder an der rechten Seite, dann sind sie durch Pfeile als Eingänge zu kennzeichnen. Zur Anordnung von Eingängen darf eine Eingangsseite über eine oder beide Ecken hinaus verlängert werden.

Die Ausgänge sind vorzugsweise unten oder an der rechten Seite des Sinnbildes anzuordnen. Sind die Ausgänge an der linken Seite oder oben anzuordnen, dann sind sie durch Pfeile als Ausgänge zu kennzeichnen (Bild 3.12).

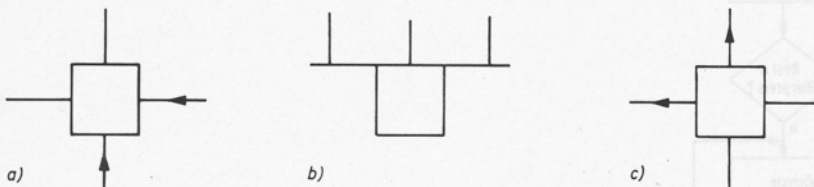


Bild 3.12 Eingänge und Ausgänge der Wirkungslinien an Sinnbildern

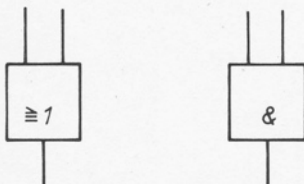


Bild 3.13

UND- und ODER-Funktion nach DIN 40700

UND- und ODER-Verknüpfungen von Wirkungslinien sind entsprechend den Sinnbildern nach DIN 40700 darzustellen (Bild 3.13).

Die Schritte werden durch Rechtecke mit beliebiger Seitenlänge dargestellt. Die innere Trennlinie liegt senkrecht zu den Befehlssinnbildern. Im oberen Feld wird die Schrittnummer eingetragen, im unteren Feld kann der den Schritt bezeichnende Text stehen, z. B. Transportieren, Spannen, Auswerfen (Bild 3.14a).

Ein Schritt wird dann speichernd gesetzt, wenn die Variablen an allen Eingängen den Wert 1 haben (UND-Verknüpfung).

Eine ODER-Verknüpfung von Eingängen ist mit einem ODER-Sinnbild darzustellen.

Ist ein Schritt gesetzt, haben die Variablen am Ausgang den Wert 1. Werden keine besonderen Angaben gemacht, wird ein Schritt durch den Setzvorgang des nachfolgenden Schrittes gelöscht. Das Löschen eines Schrittes kann auch über einen Löscheingang R erfolgen. Die Verschaltung der Eingangsvariablen eines Schrittes ist in Bild 3.14b dargestellt.

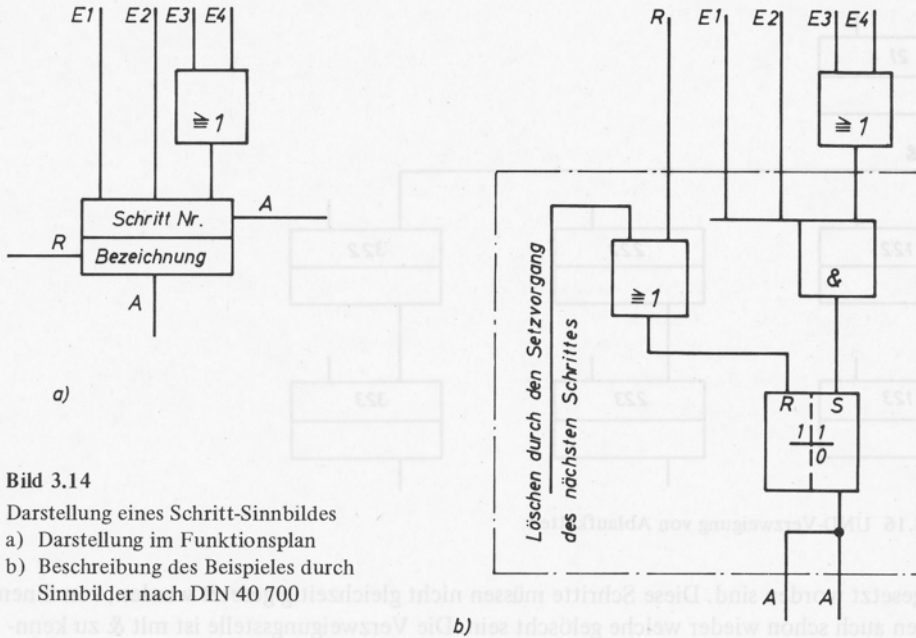


Bild 3.14

Darstellung eines Schritt-Sinnbildes

- a) Darstellung im Funktionsplan
 b) Beschreibung des Beispiels durch Sinnbilder nach DIN 40 700

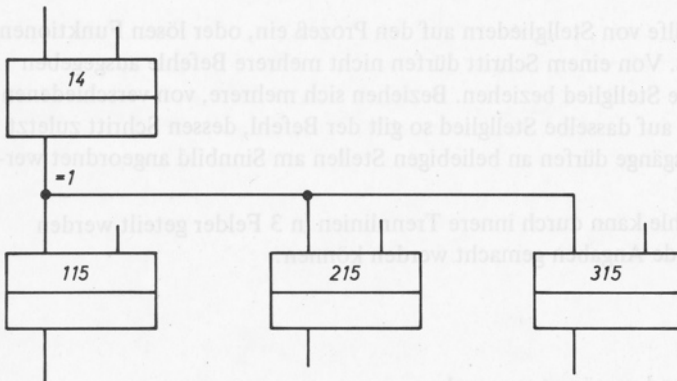


Bild 3.15 ODER-Verzweigung von Ablaufketten

Verzweigungen von Ablaufketten, bei denen nur einer der Zweige durchlaufen wird, werden wie in Bild 3.15 dargestellt, gezeichnet. Der vorhergehende Schritt 14 wird gelöscht, wenn der erste Schritt (115 oder 215 oder 315) in einem folgenden Zweig gesetzt wird. Die Verzweigungsstelle ist mit = 1 zu kennzeichnen.

Wirkungslinien zwischen den Schrittsinnbildern zur Darstellung der Verzweigungen von Ablaufketten, bei denen alle Zweige durchlaufen werden, sind in Bild 3.16 dargestellt. Der vorhergehende Schritt 21 wird gelöscht, wenn der erste Schritt in allen folgenden Zweigen gesetzt worden ist. D.h. der Schritt 21 wird gelöscht, wenn alle Schritte 122, 222 und

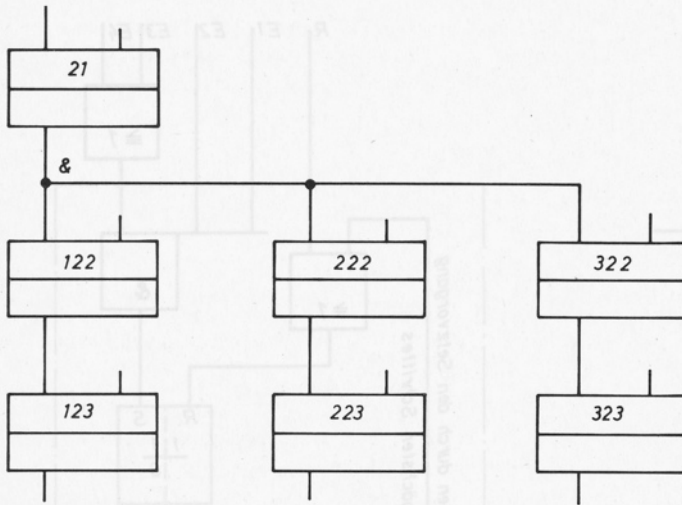


Bild 3.16 UND-Verzweigung von Ablaufketten

322 gesetzt worden sind. Diese Schritte müssen nicht gleichzeitig gesetzt werden, von ihnen können auch schon wieder welche gelöscht sein. Die Verzweigungsstelle ist mit & zu kennzeichnen.

Befehle wirken mit Hilfe von Stellgliedern auf den Prozeß ein, oder lösen Funktionen innerhalb der Steuerung aus. Von einem Schritt dürfen nicht mehrere Befehle ausgegeben werden, die sich auf dasselbe Stellglied beziehen. Beziehen sich mehrere, von verschiedenen Schritten gegebene Befehle, auf dasselbe Stellglied so gilt der Befehl, dessen Schritt zuletzt gesetzt wurde. Ein- und Ausgänge dürfen an beliebigen Stellen am Sinnbild angeordnet werden.

Das Sinnbild für Befehle kann durch innere Trennlinien in 3 Felder geteilt werden (Bild 3.17), in denen folgende Angaben gemacht werden können:

Feld A Art des Befehles:

- D verzögert
- S gespeichert
- SD gespeichert und verzögert ausgegeben
- NS nicht gespeichert
- NSD nicht gespeichert und verzögert ausgegeben
- SH gespeichert, auch bei Energieausfall
- T zeitlich begrenzt
- ST gespeichert und zeitlich begrenzt

Beispiele und Beschreibung der Befehle siehe Abschnitt 3.9.4.

Feld B Wirkung des Befehles:

- zum Beispiel: Spannzyylinder ausfahren
- Spannzyylinder einfahren
- Auswerfer vor
- Bohrereinheit vor

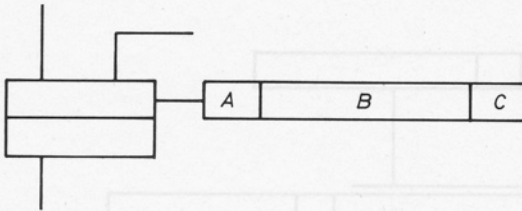


Bild 3.17

Sinnbild für Befehle

Feld C Kennzeichnung für die Abbruchstelle eines Befehlsausganges:

Sind die Rückmeldungen von Befehlsausgängen vorangegangener Schritte als Fortschaltbedingungen eines nächsten Schrittes darzustellen, so sind die Sinnbilder der Befehle nebeneinander zu zeichnen und die Wirkungslinien vom Sinnbild des Befehles zum Sinnbild des nächsten Schrittes zu ziehen (Bild 3.18a).

Die Übersichtlichkeit kann jedoch verbessert werden, wenn bei Anordnung der Befehlssinnbilder untereinander die Befehlsausgänge durch Nummern, Ziffern oder Buchstaben im Feld C als Abbruchstellen gekennzeichnet werden (Bild 3.18b).

Abbruchstellen sind Endpunkte von Wirkungslinien, die sich an einer anderen Stelle fortsetzen. Die Zusammengehörigkeit von Abbruchstellen muß eindeutig erkennbar sein.

Überspringt die Abbruchstelle einen oder mehrere Schritte, so ist der Nummer des Befehlsausganges die Schrittnummer voranzustellen (Bild 3.18c), oder die Abbruchstellen sind mit den Bezeichnungen der Signalglieder zu kennzeichnen (siehe Beispiele Abschnitt 3.9.4). Die Variablen an den mit RC bezeichneten Ausgängen sind Rückmeldungen von Antriebsgliedern, sie haben den Wert 1, solange sich die Antriebsglieder in der Stellung befinden, die der im Feld B beschriebenen Wirkung des Befehles entspricht.

Die Variablen an den nicht bezeichneten Ausgängen haben den Wert 1, wenn die Steuerung den Befehl zur Betätigung des Antriebsgliedes ausgibt.

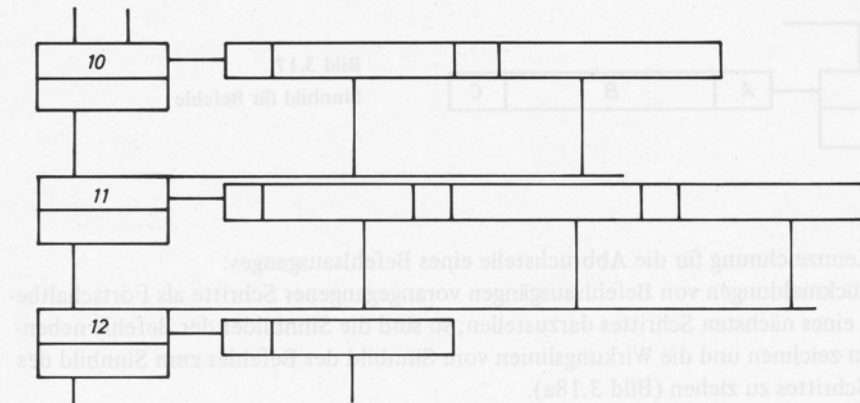
Der Befehl kann mehrere Eingänge mit zum Teil unterschiedlichen Wirkungen haben. Spezielle Wirkungen der Eingänge werden durch Buchstaben gekennzeichnet:

- F Freigabe
- R Löscheingang
- RC Rückmeldung

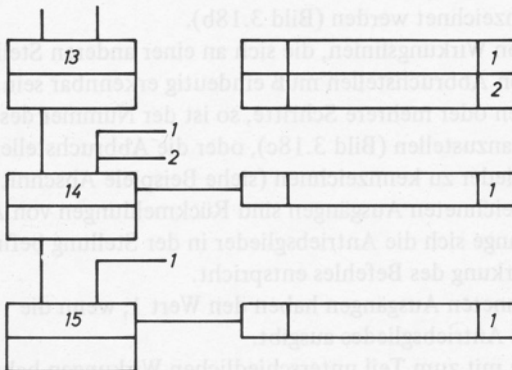
Weitere Erklärungen für die Verschaltung der Signaleingänge bei Befehlen siehe Abschnitt 3.9.4 und Beispiel 4.10.

3.5 Das Funktionsdiagramm

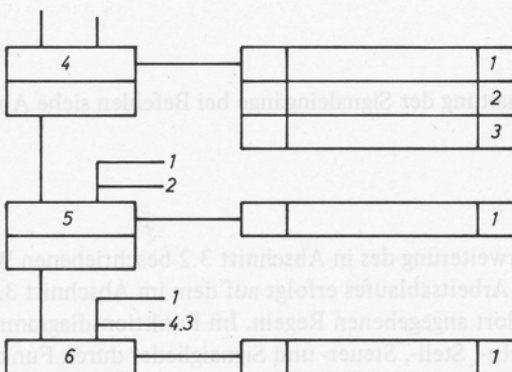
Das Funktionsdiagramm ist eine Erweiterung des in Abschnitt 3.2 beschriebenen Weg-Schritt-Diagrammes. Die Darstellung des Arbeitsablaufes erfolgt auf dem im Abschnitt 3.2 beschriebenen Formblatt und nach den dort angegebenen Regeln. Im Funktionsdiagramm werden alle Geräte der Steuerung, Antriebs-, Stell-, Steuer- und Signalglieder durch Funktionslinien dargestellt und deren Abhängigkeit durch Signallinien angegeben. Mechanisch und manuell betätigte Signalglieder können, wie im Abschnitt 3.2 beschrieben, durch Sinnbilder (Kreise und Punkte) oder durch Funktionslinien mit verbindenden Signallinien dargestellt werden (siehe Bild 3.19, 3.20, 3.21 und Abschnitt 3.7).



a)



b)



c)

Bild 3.18

Darstellung der Sinnbilder für Schritte, Befehle und Wirkungslinien

- a) Anordnung von Befehlen und nicht unterbrochenen Wirkungslinien
- b) Anordnung von Befehlen und unterbrochenen Wirkungslinien (Abbruchstellen)
- c) Anordnung von Befehlen und unterbrochenen Wirkungslinien (wenn die Abbruchstellen mehrere Schritte überspringen)

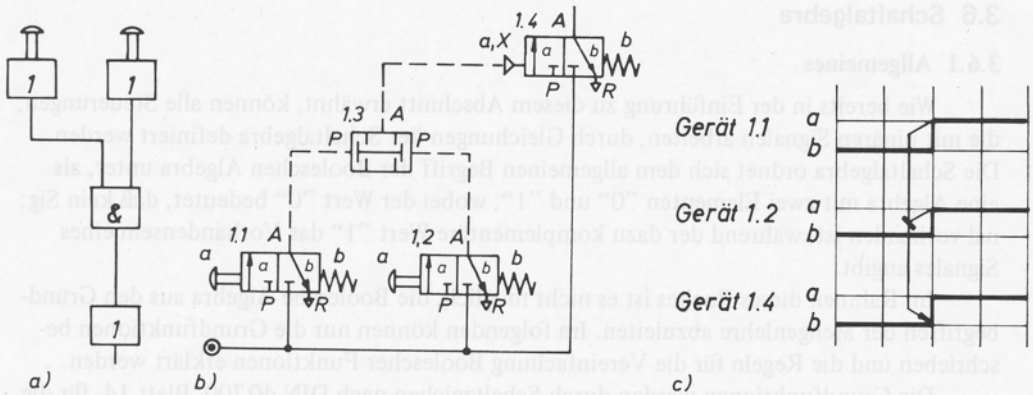


Bild 3.19 Darstellung der UND-Funktion a) Signalflußplan, b) Geräteplan, c) Funktionsdiagramm

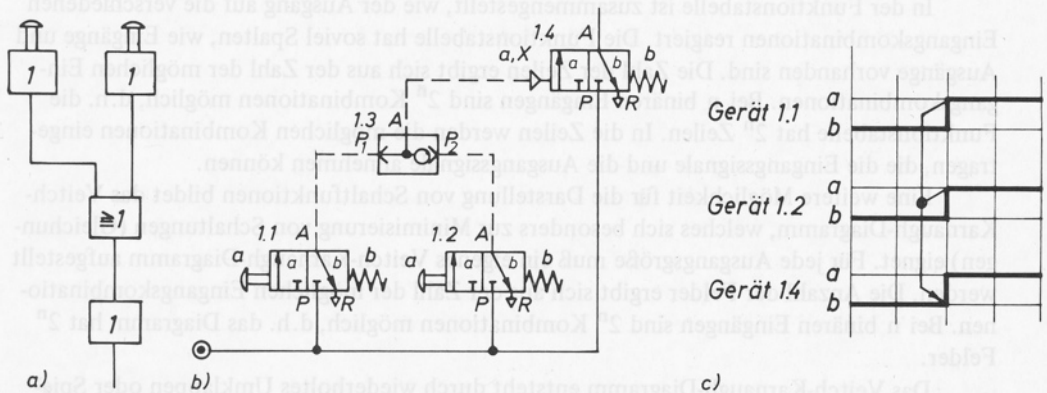


Bild 3.20 Darstellung der ODER-Funktion a) Signalflußplan, b) Geräteplan, c) Funktionsdiagramm

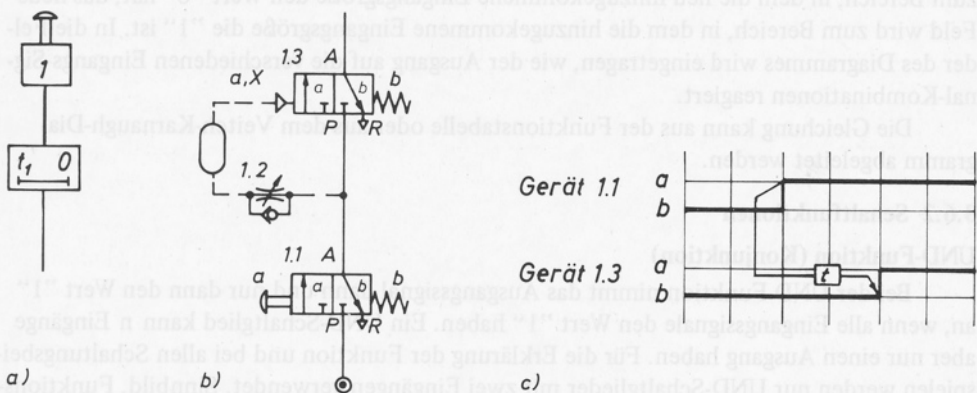


Bild 3.21 Darstellung der ZEIT-Funktion a) Signalflußplan, b) Geräteplan, c) Funktionsdiagramm

3.6 Schaltalgebra

3.6.1 Allgemeines

Wie bereits in der Einführung zu diesem Abschnitt erwähnt, können alle Steuerungen, die mit binären Signalen arbeiten, durch Gleichungen der Schaltalgebra definiert werden. Die Schaltalgebra ordnet sich dem allgemeinen Begriff der Booleschen Algebra unter, als eine Algebra mit zwei Elementen "0" und "1", wobei der Wert "0" bedeutet, daß kein Signal vorhanden ist, während der dazu komplementäre Wert "1" das Vorhandensein eines Signales angibt.

Im Rahmen dieses Buches ist es nicht möglich, die Boolesche Algebra aus den Grundbegriffen der Mengenlehre abzuleiten. Im folgenden können nur die Grundfunktionen beschrieben und die Regeln für die Vereinfachung Boolescher Funktionen erklärt werden.

Die Grundfunktionen werden durch Schaltzeichen nach DIN 40700, Blatt 14, für die Darstellung im Signalflußplan festgelegt und lassen sich durch eine die "Schaltfunktion" wiedergebende Funktionstabelle definieren.

In der Funktionstabelle ist zusammengestellt, wie der Ausgang auf die verschiedenen Eingangskombinationen reagiert. Die Funktionstabelle hat soviel Spalten, wie Eingänge und Ausgänge vorhanden sind. Die Zahl der Zeilen ergibt sich aus der Zahl der möglichen Eingangskombinationen. Bei n binären Eingängen sind 2^n Kombinationen möglich, d.h. die Funktionstabelle hat 2^n Zeilen. In die Zeilen werden die möglichen Kombinationen eingetragen, die die Eingangssignale und die Ausgangssignale annehmen können.

Eine weitere Möglichkeit für die Darstellung von Schaltfunktionen bildet das Veitch-Karnaugh-Diagramm, welches sich besonders zur Minimisierung von Schaltungen (Gleichungen) eignet. Für jede Ausgangsgröße muß ein eigenes Veitch-Karnaugh-Diagramm aufgestellt werden. Die Anzahl der Felder ergibt sich aus der Zahl der möglichen Eingangskombinationen. Bei n binären Eingängen sind 2^n Kombinationen möglich, d.h. das Diagramm hat 2^n Felder.

Das Veitch-Karnaugh-Diagramm entsteht durch wiederholtes Umklappen oder Spiegeln der Felder, in Bild 3.22 durch  dargestellt. Für jede hinzukommende Eingangsgröße wird das ursprüngliche Feld um ein gleiches erweitert. Das ursprüngliche Feld wird zum Bereich, in dem die neu hinzugekommene Eingangsgröße den Wert "0" hat, das neue Feld wird zum Bereich, in dem die hinzugekommene Eingangsgröße die "1" ist. In die Felder des Diagrammes wird eingetragen, wie der Ausgang auf die verschiedenen Eingangs-Signal-Kombinationen reagiert.

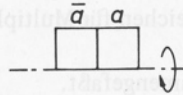
Die Gleichung kann aus der Funktionstabelle oder aus dem Veitch-Karnaugh-Diagramm abgeleitet werden.

3.6.2 Schaltfunktionen

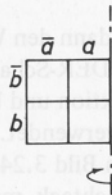
• UND-Funktion (Konjunktion)

Bei der UND-Funktion nimmt das Ausgangssignal dann und nur dann den Wert "1" an, wenn alle Eingangssignale den Wert "1" haben. Ein UND-Schaltglied kann n Eingänge aber nur einen Ausgang haben. Für die Erklärung der Funktion und bei allen Schaltungsbeispielen werden nur UND-Schaltglieder mit zwei Eingängen verwendet. Sinnbild, Funktionstabelle, Veitch-Karnaugh-Diagramm und Gleichung sind in Bild 3.23 dargestellt.

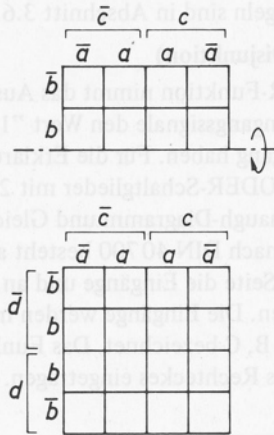
1 Eingangssignal
 $2^1 = 2$ Felder



2 Eingangssignale
 $2^2 = 4$ Felder



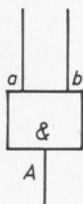
4 Eingangssignale
 $2^4 = 16$ Felder



3 Eingangssignale
 $2^3 = 8$ Felder

Bild 3.22

Aufbau des Veitch-Karnaugh-Diagramms



a)

a	b	A
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

b)

	$\bar{a}$	a
$\bar{b}$	0	0
b	0	1

c)

$$A = a \cdot b$$

d)

Bild 3.23 UND – Funktion

a) Sinnbild, b) Funktions-Tabelle, c) Veitch-Karnaugh-Diagramm, d) Gleichung

Das Sinnbild nach DIN 40700 dient zur zeichnerischen Darstellung der Schaltfunktion im Signalflußplan. Es besteht aus einem Rechteck, mit beliebigen Seitenlängen, an dessen eine Seite die Eingänge und an dessen gegenüberliegender Seite die Ausgänge herangezogen werden. Die Eingänge werden mit Kleinbuchstaben a, b, c, die Ausgänge mit Großbuchstaben A, B, C, bezeichnet.

Das Funktionszeichen macht eine Aussage über die Schaltfunktion des Sinnbildes und wird in die Mitte des Rechteckes eingetragen. Die UND-Funktion wird durch das Funktionszeichen & gekennzeichnet.

Die Gleichung aus der Funktionstabelle oder aus dem Veitch-Karnaugh-Diagramm abgeleitet heißt:

$$A = a \cdot b$$

(sprich: A gleich a und b)

Als mathematisches Sinnbild wird der Punkt (Zeichen für Multiplikation) verwendet, gesprochen wird jedoch "und".

Die Rechenregeln sind in Abschnitt 3.6.3 zusammengefaßt.

• ODER-Funktion (Disjunktion)

Bei der ODER-Funktion nimmt das Ausgangssignal dann den Wert "1" an, wenn mindestens eines der Eingangssignale den Wert "1" hat. Ein ODER-Schaltglied kann n Eingänge aber nur einen Ausgang haben. Für die Erklärung der Funktion und bei allen Schaltungsbeispielen werden nur ODER-Schaltglieder mit 2 Eingängen verwendet. Sinnbilder, Funktionstabelle, Veitch-Karnaugh-Diagramm und Gleichung sind in Bild 3.24 dargestellt.

Das Sinnbild nach DIN 40700 besteht aus einem Rechteck, mit beliebigen Seitenlängen, an dessen eine Seite die Eingänge und an dessen gegenüberliegende Seite die Ausgänge herangezogen werden. Die Eingänge werden mit Kleinbuchstaben a, b, c, die Ausgänge mit Großbuchstaben A, B, C bezeichnet. Das Funktionszeichen für die ODER-Funktion = 1 wird in die Mitte des Rechteckes eingetragen.

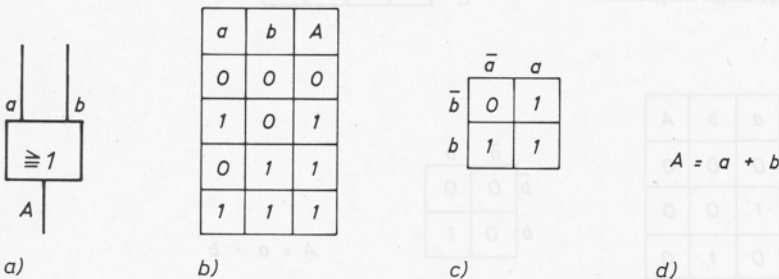


Bild 3.24 ODER – Funktion

a) Sinnbild, b) Funktions-Tabelle, c) Veitch-Karnaugh-Diagramm, d) Gleichung

Die Gleichung aus der Funktionstabelle oder aus dem Veitch-Karnaugh-Diagramm abgeleitet heißt:

$$A = a + b$$

(sprich: A gleich a oder b)

Als mathematisches Sinnbild wird das Plus-Zeichen (Zeichen für Addition) verwendet, gesprochen wird jedoch "oder". Die Rechenregeln sind in Abschnitt 3.6.3 zusammengefaßt.

• NICHT-Funktion (Negation)

Bei der NICHT-Funktion nimmt das Ausgangssignal immer den entgegengesetzten Wert des Eingangssignales an. Ein NICHT-Schaltglied hat nur einen Eingang und einen Ausgang. Sinnbild, Funktionstabelle, Veitch-Karnaugh-Diagramm und Gleichung sind in Bild 3.25 dargestellt.

Das Sinnbild nach DIN 40700 besteht aus einem Rechteck, mit beliebigen Seitenlängen, an dessen eine Seite der Eingang und an dessen gegenüberliegende Seite der Ausgang herangezogen wird. Der Kreis am Eingang oder am Ausgang zeigt die Umkehr (Negation) des Wertes der Gegenseite an.

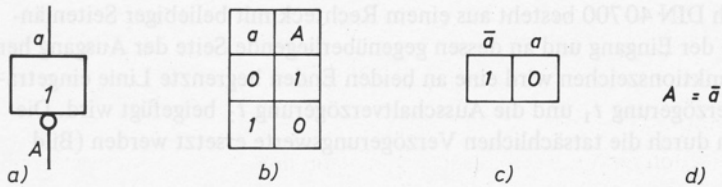


Bild 3.25 NICHT – Funktion

a) Sinnbild, b) Funktions-Tabelle, c) Veitch-Karnaugh-Diagramm, d) Gleichung

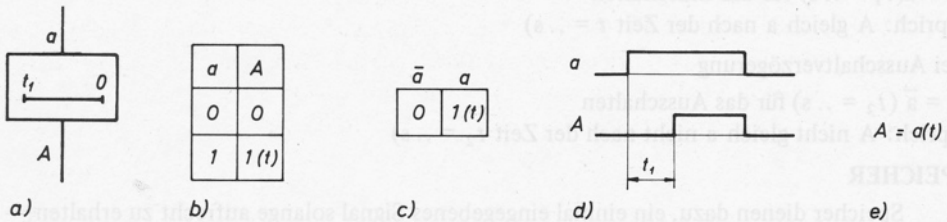


Bild 3.26 ZEIT – Funktion mit Einschaltverzögerung

a) Sinnbild, b) Funktions-Tabelle, c) Veitch-Karnaugh-Diagramm, d) Funktions-Ablauf, e) Gleichung

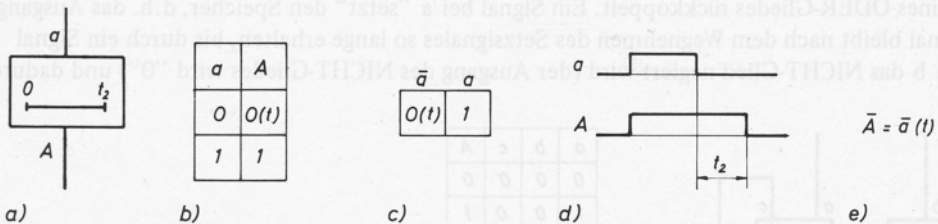


Bild 3.27 ZEIT – Funktion mit Ausschaltverzögerung

a) Sinnbild, b) Funktions-Tabelle, c) Veitch-Karnaugh-Diagramm, d) Funktions-Ablauf, e) Gleichung

Die Gleichung der NICHT-Funktion aus der Funktionstabelle oder dem Veitch-Karnaugh-Diagramm abgeleitet heißt:

$$A = \bar{a}$$

(sprich: A gleich a nicht; oder A gleich a negiert)

Als mathematisches Sinnbild für die Umkehr (Negation) wird der Strich über der negierten Größe verwendet. Die Rechenregeln sind im Abschnitt 3.6.3 zusammengefasst.

• ZEIT-Funktion

Bei der ZEIT-Funktion mit Einschaltverzögerung nimmt das Ausgangssignal den Wert "1" gegenüber dem Eingangssignal um die Zeit t_1 verzögert an.

Bei der ZEIT-Funktion mit Ausschaltverzögerung behält das Ausgangssignal den Wert "1" die Zeit t_2 noch bei, wenn das Eingangssignal von "1" nach "0" wechselt.

In den Bildern 3.26 und 3.27 sind Sinnbilder, Funktionstabelle, Veitch-Karnaugh-Diagramm, Funktionsablauf und Gleichung dieser beiden ZEIT-Funktionen dargestellt.

Das Sinnbild nach DIN 40 700 besteht aus einem Rechteck mit beliebiger Seitenlänge, an dessen eine Seite der Eingang und an dessen gegenüberliegende Seite der Ausgang herangezogen wird. Als Funktionszeichen wird eine an beiden Enden begrenzte Linie eingetragen, der die Einschaltverzögerung t_1 und die Ausschaltverzögerung t_2 beifügt wird. Die Angaben t_1, t_2 können durch die tatsächlichen Verzögerungswerte ersetzt werden (Bild 3.26 und 3.27).

Die Gleichung für die ZEIT-Funktion heißt:

Bei Einschaltverzögerung

$A = a(t_1 = \dots s)$ für das Einschalten

(sprich: A gleich a nach der Zeit $t = \dots s$)

Bei Ausschaltverzögerung

$\bar{A} = \bar{a}(t_2 = \dots s)$ für das Ausschalten

(sprich: A nicht gleich a nicht nach der Zeit $t_2 = \dots s$)

• SPEICHER

Speicher dienen dazu, ein einmal eingegebenes Signal solange aufrecht zu erhalten, bis durch ein gegenläufiges Signal der Ausgangszustand wieder hergestellt wird.

Wie in Bild 3.28 dargestellt, kann ein Speicher aus den Schaltfunktionen UND ODER NICHT aufgebaut werden, wenn man den Ausgang A eines UND-Gliedes über den Eingang c eines ODER-Gliedes rückkoppelt. Ein Signal bei a "setzt" den Speicher, d.h. das Ausgangssignal bleibt nach dem Wegnehmen des Setzsignales so lange erhalten, bis durch ein Signal bei b das NICHT-Glied negiert wird (der Ausgang des NICHT-Gliedes wird "0") und dadurch

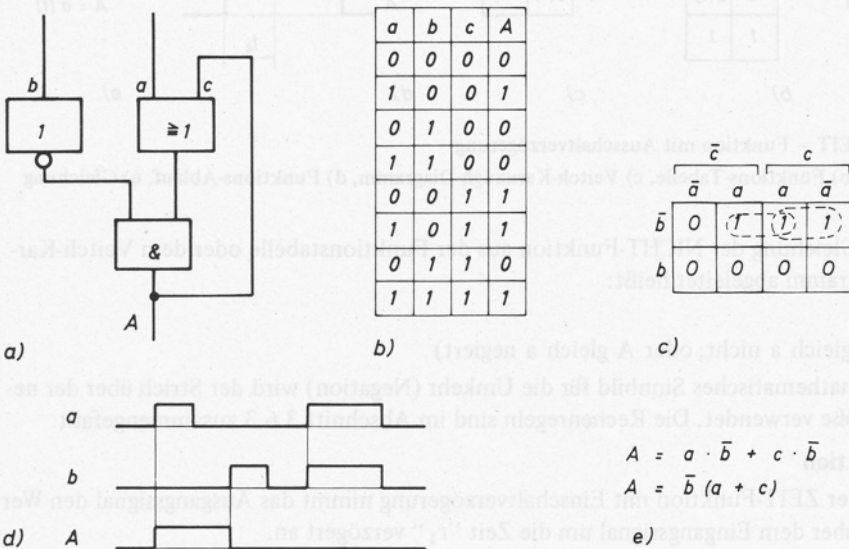


Bild 3.28 SPEICHER dominierend aus

a) Signalflußplan, b) Funktions-Tabelle, c) Veitch-Karnaugh-Diagramm, d) Funktions-Ablauf, e) Gleichung

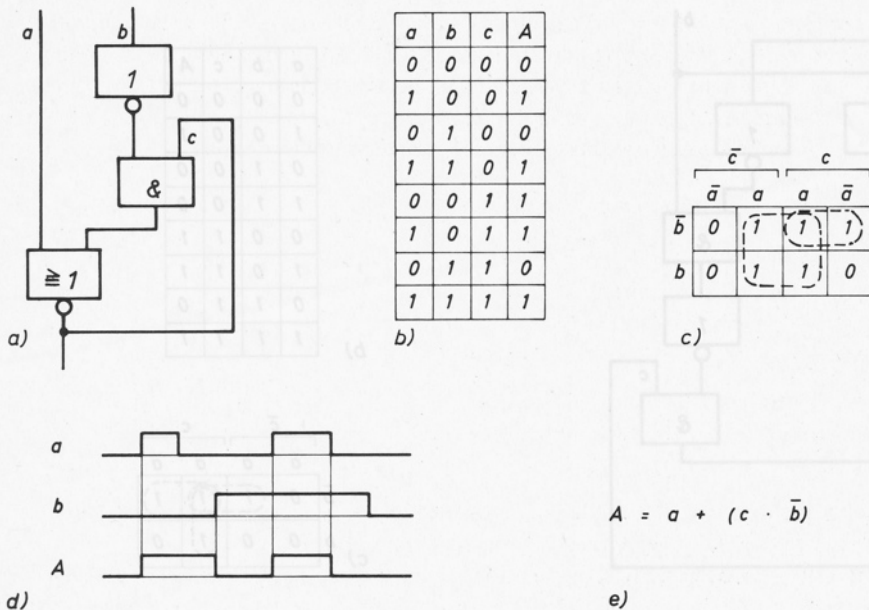


Bild 3.29 SPEICHER dominierend ein

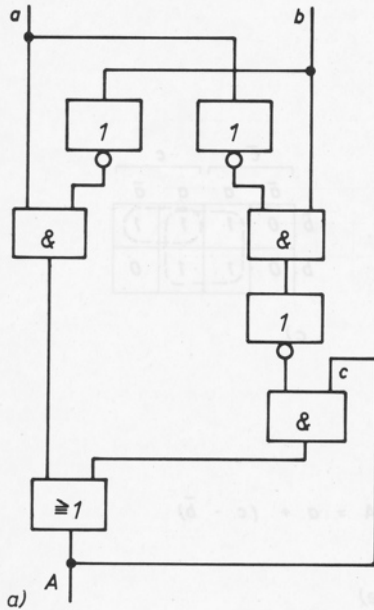
a) Signalflußplan, b) Funktions-Tabelle, c) Veitch-Karnaugh-Diagramm, d) Funktions-Ablauf, e) Gleichung

die UND-Funktion nicht mehr erfüllt ist, wodurch das Ausgangssignal A ebenfalls "gelöscht" wird. Dieser Speicher hat die Eigenschaft „dominierend aus“, d.h. wenn beide Eingangssignale a und b den Wert "1" annehmen, erscheint am Ausgang A der Wert "0".

Ein Speicher mit den Eigenschaften "dominierend ein", kann entsprechend der in Bild 3.29 dargestellten Schaltung aus den Grundschriftfunktionen aufgebaut werden. Das Ausgangssignal wird durch ein Signal bei a gesetzt und durch ein Signal bei b gelöscht. Haben beide Eingangssignale a und b den Wert "1", so hat auch das Ausgangssignal den Wert "1".

In Bild 3.30 ist ein Speicher mit den Eigenschaften "dominierend für das erste Signal" dargestellt. Der Speicher wird durch ein Signal bei a gesetzt und durch ein Signal bei b gelöscht. Beim gleichzeitigen Vorliegen beider Eingangssignale bleibt immer der zuletzt innegehabte Schaltzustand erhalten, d.h. das zeitlich zweite Eingangssignal bleibt ohne Wirkung, solange das erste Signal noch ansteht.

Ein Speicher, dessen Ausgänge A und B abwechselnd durch die Eingangssignale a oder b gesetzt werden, ist in Bild 3.31 dargestellt. Bei diesem Speicher nehmen nach dem Einschalten der Anlage die Ausgänge A und B die beiden möglichen Werte "0" und "1" mit gleicher Wahrscheinlichkeit an. Wenn nach dem Einschalten ein bestimmter Ausgang den Wert "1" führen soll, dann sind entsprechende Setzschnale vorzusehen. Bei gleichzeitigem Vorhandensein beider Eingangssignale bleibt immer der zuletzt innegehabte Schaltzustand erhalten (dominierend für das erste Signal).

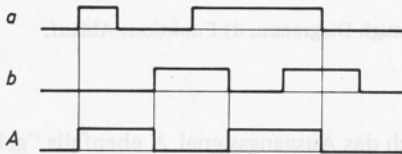


b)

a	b	c	A
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	0
1	1	1	1

c)

	$\bar{c}$		c	
	$\bar{a}$	a	a	$\bar{a}$
$\bar{b}$	0	1	1	1
b	0	0	1	0



e)

$$A = a \cdot \bar{b} + a \cdot c + \bar{b} \cdot c$$

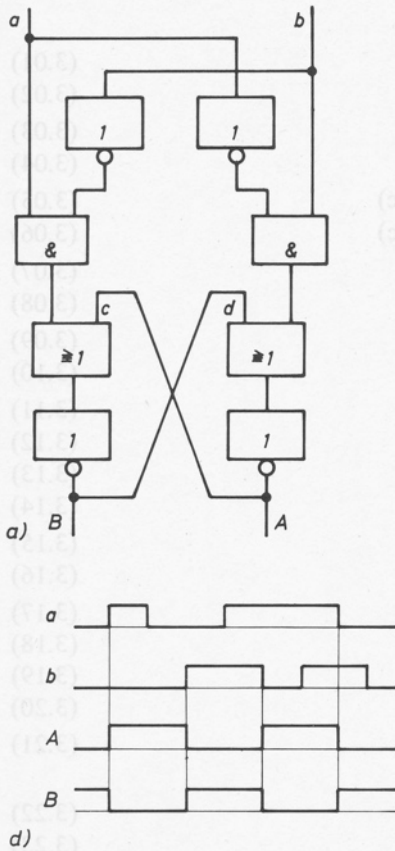
$$A = a \cdot \bar{b} + c(a + \bar{b}) \quad (\text{Gleich. 3.05})$$

$$A = a \cdot \bar{b} + c \cdot \overline{a \cdot b} \quad (\text{Gleich. 3.27})$$

Bild 3.30 SPEICHER dominierend für das erste Signal

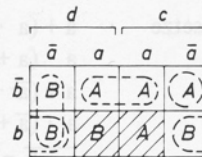
- a) Signalflußplan, b) Funktions-Tabelle, c) Veitch-Karnaugh-Diagramm, d) Funktions-Ablauf,
e) Gleichung

Das allgemeine Sinnbild für einen Speicher nach DIN 40700 ist in Bild 3.32a dargestellt. Es besteht aus einem Rechteck, an dessen schmalen Seiten gegenüberliegend die Eingänge und Ausgänge herangezogen sind. Das Rechteck ist der Länge nach durch eine gestrichelte Linie in zwei Felder geteilt. Zusätzlich können bei diesem Sinnbild noch Angaben für ein besonderes Schaltverhalten eingetragen werden, wenn, wie in Bild 3.32b dargestellt, die Werte für die Ein- und Ausgänge eingetragen werden. Zum Beispiel: Bistabiles Kippglied mit dominierendem Eingang a entspricht Impulsventil mit Differenzkolben.



a	b	c	d	A	B
0	0	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1
1	1	0	1	0	1
0	0	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1
1	1	1	0	1	0

b)



c)

$$A = a \cdot \bar{b} + \bar{b} \cdot c$$

$$B = b \cdot \bar{a} + \bar{a} \cdot d$$

e)

Bild 3.31 SPEICHER mit zwei Signalausgängen

a) Signalflußplan, b) Funktions-Tabelle, c) Veitch-Karnaugh-Diagramm, d) Funktions-Ablauf, e) Gleichung

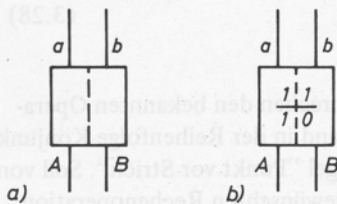


Bild 3.32

Sinnbild für Speicher nach DIN 40 700

3.6.3 Regeln und Gesetze der Schaltalgebra

Kommutativ-Gesetz	$a \cdot b = b \cdot a$	(3.01)
(Vertauschungsregel)	$a + b = b + a$	(3.02)
Assoziativ-Gesetz	$a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$	(3.03)
(Anreihungsregel)	$a + (b + c) = (a + b) + c$	(3.04)
Distributiv-Gesetz	$a \cdot (b + c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$	(3.05)
(Mischungsregel)	$a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$	(3.06)
Absorptions-Gesetz	$a \cdot (a + b) = a$	(3.07)
	$a + (a \cdot b) = a$	(3.08)
Idempotenz-Gesetz	$a + a = a$	(3.09)
	$a \cdot a = a$	(3.10)
Shanonsche-Gesetze	$a + (a \cdot \bar{b}) = a$	(3.11)
	$a \cdot (a + \bar{b}) = a$	(3.12)
	$a + (\bar{a} \cdot b) = a + b$	(3.13)
	$a \cdot (\bar{a} + b) = a \cdot b$	(3.14)
De Morgansche	$\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$	(3.15)
Gesetze	$\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$	(3.16)
Gesetz für das	$a \cdot \bar{a} = 0$	(3.17)
Komplement	$a + \bar{a} = 1$	(3.18)
	$\bar{\bar{1}} = 0$	(3.19)
	$\overline{\bar{0}} = 1$	(3.20)
Gesetz für das doppelte	$\bar{\bar{a}} = a$	(3.21)
Komplement		
Gesetz für die Ver-	$a + 0 = a$	(3.22)
knüpfung von 0 und 1	$a + 1 = 1$	(3.23)
	$a \cdot 1 = a$	(3.24)
	$a \cdot 0 = 0$	(3.25)
Negation	$a \cdot b = \overline{\bar{a} + \bar{b}}$	(3.26)
	$a + b = \overline{\bar{a} \cdot \bar{b}}$	(3.27)
Dualität	$(a + \bar{b} \cdot c) \cdot (\bar{c} + \bar{a})$	
	ist dual zu	(3.28)
	$a \cdot (\bar{b} + c) + \bar{c} \cdot \bar{a}$	

Die Rechenregeln der Gleichungen 3.01 bis 3.05 entsprechen den bekannten Operationen Multiplikation und Addition der Zahlenalgebra. Sie sind in der Reihenfolge Konjunktion – Disjunktion vorzunehmen, d.h. entsprechend der Regel "Punkt vor Strich". Soll von dieser Regel abgewichen werden, so sind entsprechend der gewünschten Rechenoperation Klammern zu setzen.

Die Schaltalgebra unterscheidet sich von der Zahlenalgebra dadurch, daß Ausdrücke wie $2a$ oder b^2 wegen dem Idempotenz-Gesetz nicht möglich sind.

Die Negation eines Ausdruckes erhält man, indem man zum dualen Ausdruck übergeht und jede Variable einzeln negiert.

Das Prinzip der Dualität ermöglicht, daß durch Austauschen des Konjunktionszeichens gegen das Disjunktionszeichen +, oder umgekehrt, sowie durch Tauschen von 0 und 1, die mit geraden Zahlen bezeichneten Gleichungen zu denen mit ungeraden Zahlen bezeichneten werden, d.h. die Gleichungen innerhalb eines Gesetzes sind dual.

Aus jeder Gleichung der Schaltalgebra erhält man durch die oben angegebenen Vertauschungen wieder eine richtige schaltalgebraische Gleichung.

Als ergänzende Literatur kann genannt werden:

Denis-Papin, Maurice, Theorie und Praxis der Booleschen Algebra
Vieweg, Braunschweig 1974

Giloi Liebig, Logischer Entwurf digitaler Systeme
Springer, Berlin 1973

Gschwendtner, Hermann, Schaltalgebra für Fachschulen Technik
Vieweg, Braunschweig 1977

Whitesitt, Eldon, Boolesche Algebra und ihre Anwendung
Vieweg, Braunschweig 1973

3.6.4 Realisierung der Schaltfunktionen

In Tabelle 3.1 sind alle Schaltfunktionen für zwei Signaleingänge und die Realisierung dieser Schaltfunktionen mit den in Abschnitt 2.8.2, 2.8.3 und 2.8.7 beschriebenen Steuergliedern zusammengestellt.

Die Kolbenelemente (Wegeventile) sind mit den Sinnbildern nach ISO 1219 dargestellt.

Für die Darstellung der Membran-Elemente (Elemente mit bewegten Teilen) werden die Sinnbilder entsprechend der CETOP-Empfehlung verwendet (Gegenüberstellung DIN – CETOP siehe Tabelle 3.2). Diese Sinnbilder werden als Quadrate gezeichnet, an die, die dem Gerät entsprechenden Anschlüsse angefügt sind. Die Verbindungen im Gerät zwischen den einzelnen Anschlüssen (Schaltstellungen) werden durch gerade Linien dargestellt, die bei unistabilen Elementen für die Schaltstellung der Ruhelage voll durchgezogen sind, bei bistabilen Elementen werden die Schaltstellungen durch unterbrochene Linien dargestellt. Lage und Bezeichnung der Anschlüsse bei Membran-Elementen in Tabelle 3.1 entsprechen den Darstellungen der Wirkungsschemata und der Sinnbilder in Bild 3.33.

Die Turbolenzverstärker sind mit Sinnbildern nach DIN 40700, entsprechend ihrer Funktion, als NOR-Element mit 4 Steuer-Eingängen dargestellt.

Für die Wandstrahlelemente ist die Silhouette der Kanalführung angegeben.

3.7 Arten der Steuerungen (DIN 19237)

3.7.1 Verknüpfungssteuerungen

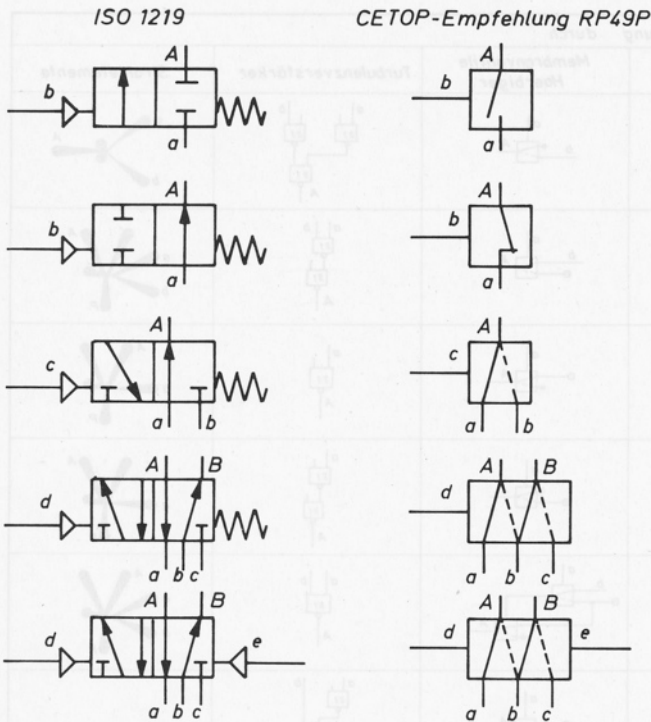
In Verknüpfungssteuerungen sind den Signalzuständen der Eingangssignale bestimmte Signalzustände der Ausgangssignale zugeordnet. Nach dieser Definition sind Teile einer Steuerung, z.B. Startvoraussetzungen oder Schaltungen für bestimmte Betriebsbedingungen wie Hand-Automatik-Schaltung oder Gefahrenabschaltung, als Verknüpfungssteuerungen anzusehen.

Tabelle 3.1 Realisierung der Schaltfunktionen mit verschiedenen Bauelementen

	Bezeichnung	Sinnbild nach DIN 40700	Grund- Funktionen	Funktions- Tabelle			Gleichung	Wegeventile
				a	b	A		
1	Konjunktion UND			0	0	0	$A = a \cdot b$	
				0	0	0		
				1	0	0		
				0	1	0		
				1	1	1		
2	Disjunktion ODER			0	0	0	$A = a + b$	
				1	0	1		
				0	1	1		
				1	1	1		
3	Negation NICHT			0	1	$A = \bar{a}$		
				1	0			
4	Identität			0	0	$A = a$		
				1	1			
5	Pierce-Funktion NOR			0	0	1	$A = \overline{a + b}$	
				1	0	0		
				0	1	0		
				1	1	0		
6	Implikation			0	0	1	$A = \bar{a} + b$	
				1	0	0		
				0	1	1		
				1	1	1		
7	Sheffer-Funktion NAND			0	0	1	$A = \overline{a \cdot b}$	
				1	0	1		
				0	1	1		
				1	1	0		
8	Inhibition			0	0	0	$A = \bar{a} \cdot b$	
				1	0	0		
				0	1	1		
				1	1	0		
9	Äquivalenz			0	0	1	$A = \bar{a} \cdot \bar{b} + a \cdot b$	
				1	0	0		
				0	1	0		
				1	1	1		
10	Antivalenz Exklusiv-ODER			0	0	0	$A = \bar{a} \cdot b + a \cdot \bar{b}$	
				1	0	1		
				0	1	1		
				1	1	0		
11	Speicher			0	0	0	$A = a \cdot \bar{b}$	
				1	0	1		
				0	1	0		

Realisierung durch				
Membranventile Samsomatic	Membranventile Sunvic-Dreloba	Membranventile Hoerbiger	Turbulenzverstärker	Strahlelemente

Tabelle 3.2 Gegenüberstellung der Sinnbilder



Die einfachsten Verknüpfungssteuerungen sind in Abschnitt 3.8.2 dargestellt: Wird das Signalglied betätigt, fährt die Kolbenstange aus und bleibt solange ausgefahren, bis die Betätigungskraft vom Signalglied genommen wird.

3.7.2 Ablaufsteuerungen

Ablaufsteuerungen sind Steuerungen mit zwangsläufig schrittweisem Ablauf, bei denen das Weiterschalten von einem Schritt auf den programmgemäß folgenden abhängig von Weiterschaltbedingungen erfolgt.

In zeitgeführten Ablaufsteuerungen werden die Weiterschaltbedingungen von Zeitgliedern (Abschnitt 3.8.5), Zeitzählern oder von Schaltwalzen mit gleichbleibender Drehzahl (Programmschaltwerke, Abschnitt 3.9.6) erzeugt.

Die Wegplansteuerung ist eine Form der prozeßabhängigen Ablaufsteuerung; in ihr sind die Weiterschaltbedingungen nur von wegabhängigen Signalen der gesteuerten Anlage abhängig.

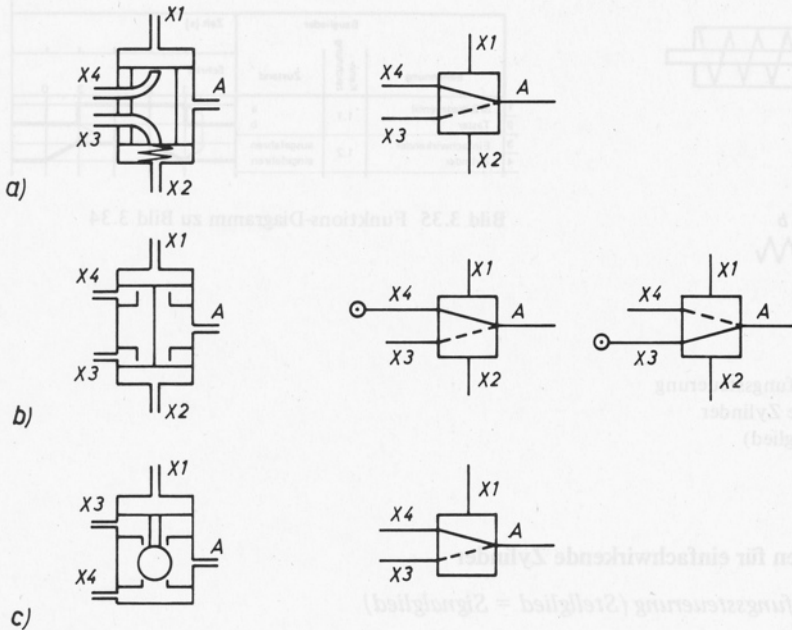


Bild 3.33 Wirkungsschema und Sinnbild (CETOP) zu den Fluidik-Elementen

a) Samsomatic, b) Sanvic – Dreloba, c) Hoerbiger

3.8 Grundsaltungen für einen Zylinder

3.8.1 Allgemeines

Die Darstellung der Steuerkette im Schaltplan soll so erfolgen, daß die Geräte von unten nach oben in Richtung des Energieflusses gezeichnet werden. Zylinder und Wegeventile sind vorzugsweise waagrecht zu zeichnen. Die Kolbenstangen der Zylinder sollen nach rechts ausfahren, die Betätigungselemente an Wegeventilen mit Ruhestellung sind links anzuordnen.

Die einzelnen Steuerketten sind fortlaufend, mit 1 beginnend, zu numerieren.

Die Geräte jeder Steuerkette sind von unten nach oben, in Richtung des Energieflusses, mit der Ordnungszahl der Steuerkette und einer fortlaufenden Unter Nummer zu bezeichnen (z. B. Steuerkette 2, Gerät 5 = 2.5).

Die Grundsaltungen für einen Zylinder sind nur durch Geräteplan und Funktionsdiagramm dargestellt. Der geräteunabhängige Aufbau von Steuerungen (Signalflußplan), der Programmablaufplan und der Funktionsplan sind in den nächsten Abschnitten erklärt. In den Funktionsdiagrammen dieses Abschnittes sind alle Geräte (auch Signalglieder) durch Funktionslinien dargestellt.

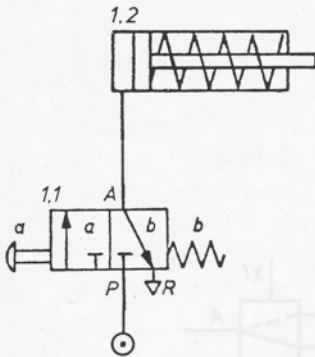


Bild 3.34 Verknüpfungssteuerung für einfachwirkende Zylinder
(Stellglied = Signalglied)

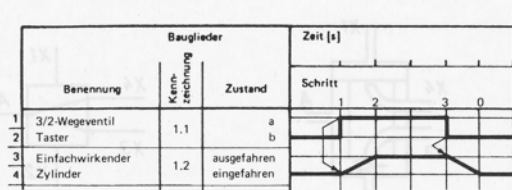


Bild 3.35 Funktions-Diagramm zu Bild 3.34

3.8.2 Steuerungen für einfachwirkende Zylinder

3.8.2.1 Verknüpfungssteuerung (Stellglied = Signalglied)

Die einfachste Steuerkette ist in Bild 3.34 dargestellt.

Ein einfachwirkender Zylinder mit Rückstellfeder wird durch ein 3/2-Wegeventil gesteuert. Stellglied und Signalglied sind in einem Ventil vereinigt.

Im Funktions-Diagramm Bild 3.35 ist der Arbeitsablauf dieser Steuerkette festgelegt:

Schritt 1 – Das 3/2-Wegeventil wird von Hand mittels Druckknopf oder Taster von der Ruhestellung in die Schaltstellung a gebracht. Dadurch wird der Anschluß P mit dem Anschluß A verbunden, die Luft kann zum Zylinder strömen. Die Signallinie zeigt diesen Zustand an, d.h. sie verbindet Ventil und Zylinder. Ausgang des Signales ist der Punkt, an dem das 3/2-Wegeventil in Schaltstellung a gebracht wird. Der Pfeil kennzeichnet die Wirkungsrichtung vom Ventil zum Zylinder.

Durch die in den Zylinder einströmende Druckluft wird die Kolbenstange ausgefahren. Im Funktions-Diagramm wird dieser Vorgang durch die Funktionslinie zwischen Schritt 1 und 2, und zwischen der Kolbenstangenlage eingefahren und ausgefahren, dargestellt.

Schritt 2 – Die Kolbenstange ist ausgefahren.

Schritt 3 – Die Betätigungskraft wird vom 3/2-Wegeventil genommen, die eingebaute Feder drückt die beweglichen Teile des Ventiles in die Ruhestellung. Der Anschluß P wird verschlossen und der Anschluß A nach Anschluß R entlüftet. Die Druckluft im Zylinder kann ins Freie entweichen und die eingebaute Feder läßt die Kolbenstange einfahren. Ausgang des Signales ist der Punkt, an dem das Ventil in Ruhestellung gebracht wird. Eingang des Signales am Zylinder bei ausgefahrener Kolbenstange.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren.

3.8.2.2 Verknüpfungssteuerung (Stellglied + Signalglied)

Nicht immer kann die einfache Steuerkette, wie in Abschnitt 3.8.2.1 beschrieben, ausgeführt werden. Es ist vorteilhaft, das Stellglied möglichst nahe am Antriebsglied anzubringen, denn kurze Arbeitsluftleitungen bringen geringen Luftverbrauch und rasches Ansprechen des Antriebsgliedes. Bedingt durch die Konstruktion der Maschine ist es daher oft notwendig, Stellglied und Signalglied zu trennen. Die Größe des Stellgliedes kann der Zylindergröße angepaßt werden; das Signalglied kann man klein halten, wodurch sich geringe Betätigungskräfte und niedriger Luftverbrauch im Steuerteil ergeben (Bild 3.36).

Im Funktions-Diagramm Bild 3.37 ist der Arbeitsablauf dieser Steuerkette festgelegt:

Schritt 1 – Das Signalglied (3/2-Wegeventil, Gerät 1.1) wird durch Muskelkraft in Stellung a geschaltet und gibt ein Signal an das Stellglied (3/2-Wegeventil, Gerät 1.2) ab; wodurch auch das Stellglied, ein pneumatisch betätigtes 3/2-Wegeventil in Stellung a geschaltet wird. Der Weg für die Arbeitsluft zum Zylinder ist damit freigegeben und die Kolbenstange fährt aus.

Schritt 2 – Die Kolbenstange ist ausgefahren.

Schritt 3 – Die Betätigungskraft wird vom Signalglied genommen, die eingebaute Feder drückt die beweglichen Teile des Ventiles in die Ruhestellung. Das am Anschluß X des Stellgliedes anstehende Signal wird gelöscht und auch das Stellglied geht in Schaltstellung b. Die Zufuhr der Arbeitsluft zum Zylinder wird gesperrt und der Zylinder entlüftet, die Kolbenstange wird durch die Feder eingefahren.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren.

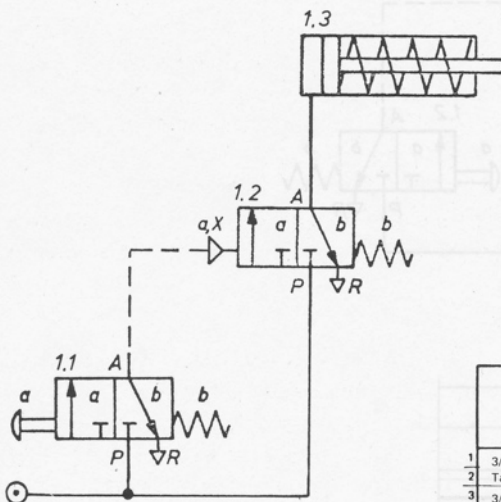


Bild 3.36 Verknüpfungssteuerung für einfachwirkenden Zylinder (Stellglied + Signalglied)

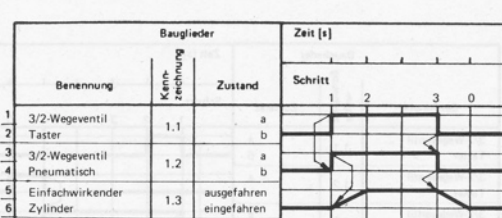


Bild 3.37 Funktions-Diagramm zu Bild 3.36

3.8.2.3 Verknüpfungssteuerung mit Speicher

Zum Ausfahren bzw. Einfahren der Kolbenstange ist ein Steuerimpuls notwendig, das eingegebene Signal wird gespeichert.

Das Funktions-Diagramm Bild 3.39 erklärt den Arbeitsablauf der Steuerkette in Bild 3.38.

Schritt 1 – Das Signalglied (Gerät 1.1) wird von Hand in Stellung a geschaltet, dadurch wird ein Signal an den Anschluß X des Stellgliedes (Gerät 1.3) gegeben. Gerät 1.3 ist ein pneumatisch durch Druckbelastung betätigtes 3/2-Wege-Impulsventil; es wird durch das Signal bei Anschluß X in Stellung a geschaltet und bleibt in dieser Stellung. In Schaltstellung a des Gerätes 1.3 ist Anschluß P mit Anschluß A verbunden, die Druckluft kann zum Zylinder strömen und die Kolbenstange fährt aus.

Schritt 2 – Die Betätigungskraft wird vom Signalglied (Gerät 1.1) genommen, die eingebaute Feder bringt das Ventil in die Ruhestellung; das Stellglied wird von diesem Vorgang nicht beeinflusst.

Schritt 3 – Die Kolbenstange ist ausgefahren.

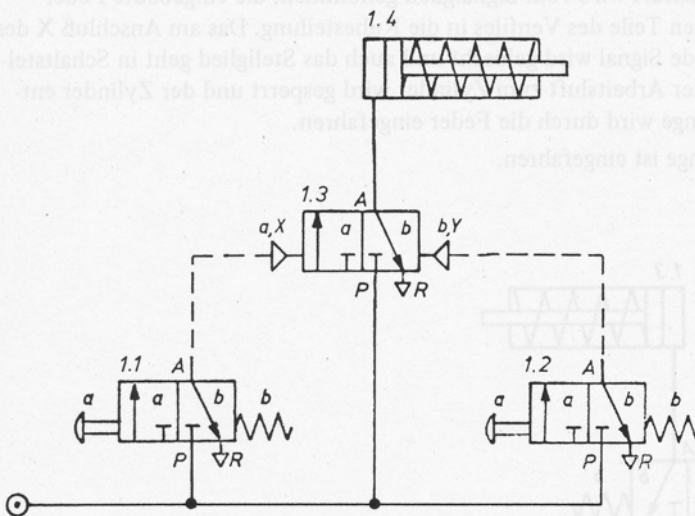


Bild 3.38 Verknüpfungssteuerung mit Speicher

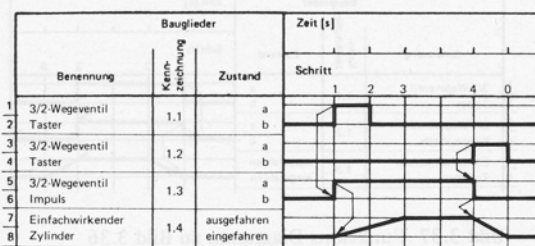


Bild 3.39

Funktions-Diagramm zu
Bild 3.38

Schritt 4 – Das Signalglied (Gerät 1.2) wird betätigt, ein Signal wird an den Anschluß Y des Stellgliedes (Gerät 1.3) gegeben und da bei Anschluß X kein Signal ansteht, wird das Stellglied in Schaltstellung b gebracht. Der Anschluß P wird verschlossen und der Anschluß A wird nach Anschluß R entlüftet. Die Druckluft im Zylinder kann ins Freie entweichen und die eingebaute Feder läßt die Kolbenstange einfahren.

Schritt 0 – Vom Signalglied (Gerät 1.2) wird die Betätigungskraft genommen, das Ventil schaltet in die Ruhestellung.

Die Kolbenstange ist eingefahren.

3.8.3 Steuerungen für doppeltwirkende Zylinder

3.8.3.1 Verknüpfungssteuerung (Stellglied = Signalglied)

Zur Steuerung eines doppeltwirkenden Zylinders ist, wie aus Bild 3.40 hervorgeht, ein 4/2-Wegeventil notwendig. Bei Ruhestellung des 4/2-Wegeventiles beaufschlagt die Druckluft die Kolbenringfläche und die Kolbenstange ist eingefahren. Wird das Ventil in Stellung a geschaltet, wird der Anschluß B nach Anschluß R entlüftet und der Druckluftanschluß P mit dem Anschluß A verbunden. Die in den Zylinder einströmende Luft drückt den Kolben vor, die Kolbenstange fährt aus und die Luft vor der Kolbenringfläche kann über Anschluß B nach R entweichen.

Wird von dem 4/2-Wegeventil die Betätigungskraft genommen, drückt die eingebaute Feder die beweglichen Teile des Ventiles in die Ruhestellung, so wird wieder die Verbindung zwischen den Anschlüssen P – B und A – R hergestellt, die Kolbenstange wird eingefahren. Im Funktions-Diagramm Bild 3.4.1 ist der Arbeitsablauf der Steuerkette Bild 3.40 dargestellt. Das Diagramm deckt sich mit dem Diagramm Bild 3.35, es unterscheidet sich nur durch die Benennung der Geräte.

3.8.3.2 Verknüpfungssteuerung (Stellglied + Signalglied)

Hier gilt das gleiche wie in Abschnitt 3.8.2.2, Stellglied und Signalglied sind getrennt, bedingt durch den doppeltwirkenden Zylinder muß das Stellglied ein 4/2- oder 5/2-Wege-

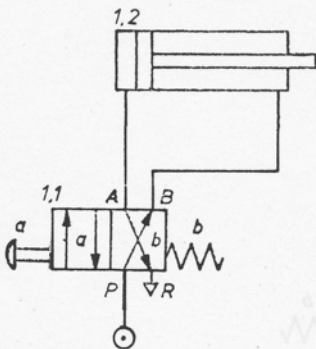


Bild 3.40

Verknüpfungssteuerung für doppeltwirkenden Zylinder
(Stellglied = Signalglied)

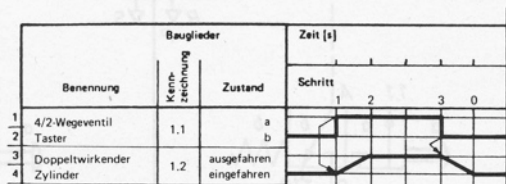


Bild 3.41 Funktions-Diagramm zu Bild 3.40

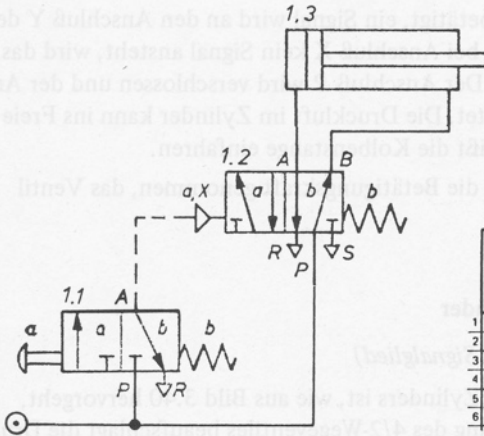


Bild 3.42 Verknüpfungssteuerung für doppelwirkenden Zylinder (Stellglied + Signalglied)

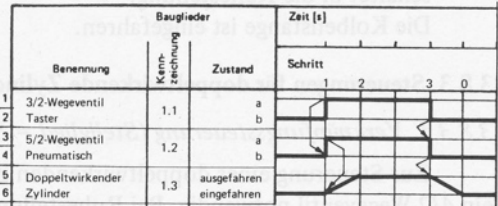


Bild 3.43 Funktions-Diagramm zu Bild 3.42

ventil sein, seine Größe muß der Zylindergröße angepaßt werden. Das Signalglied, ein 3/2-Wegeventil, soll man klein halten.

Bild 3.42 zeigt den Aufbau der Steuerkette und Bild 3.43 das Funktions-Diagramm.

3.8.3.3 Verknüpfungssteuerung, Stellglied durch Druckbeaufschlagung betätigt

Hier gilt das gleiche wie in Abschnitt 3.8.3.2. Der Aufbau der Steuerkette Bild 3.44 und das Funktions-Diagramm Bild 3.45 entsprechen den Bildern 3.38 und 3.39. Bedingt

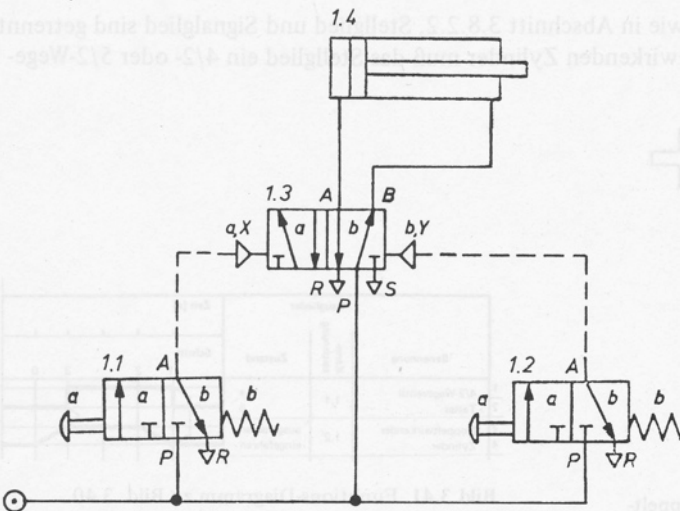


Bild 3.44 Verknüpfungssteuerung mit Speicher, durch Druckbeaufschlagung betätigtes Stellglied

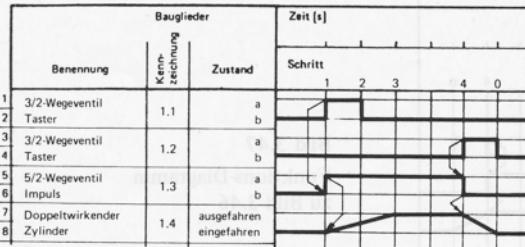


Bild 3.45

Funktions-Diagramm
zu Bild 3.44

durch den doppeltwirkenden Zylinder ist das Stellglied ein 5/2-Wege-Impulsventil. Es wird durch Druckbelastung betätigt. Die Signalglieder für die Steuerung des Stellgliedes sind 3/2-Wegeventile.

3.8.3.4 Verknüpfungssteuerung, Stellglied durch Druckentlastung betätigt

Pneumatisch betätigte Ventile können durch Druckbelastung oder Druckentlastung betätigt werden. Bei den bisher besprochenen Steuerketten wurden Ventile mit Betätigung durch Druckbelastung verwendet. Zur Umsteuerung dieser Ventile wurden Druckimpulse benötigt, welche durch 3/2-Wegeventile gesteuert wurden.

Bild 3.46 zeigt den Aufbau einer Steuerkette zur Steuerung eines doppeltwirkenden Zylinders durch ein 4/2-Wege-Impulsventil mit Betätigung durch Druckentlastung. Der Aufbau dieser Steuerkette ist einfacher und billiger als bei Betätigung durch Druckbelastung. Leckstellen an Verschraubungen und Signalgliedern im Steuerteil können allerdings zu Störungen im Arbeitsablauf führen. Die Funktion eines Ventiles mit Betätigung durch Druckentlastung wurde im Abschnitt 2.8.2.3 erklärt.

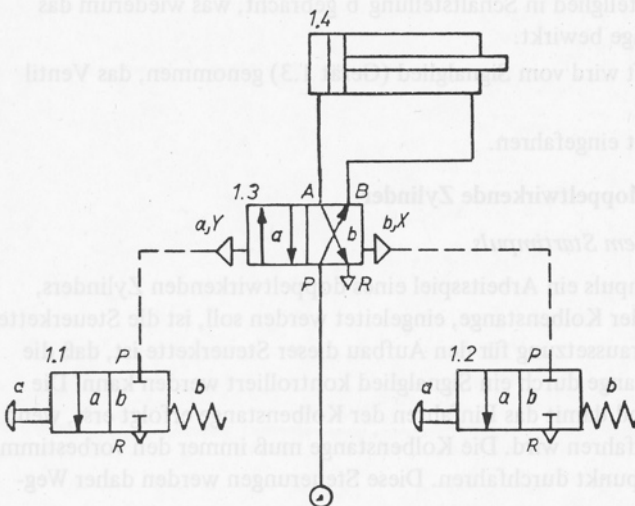


Bild 3.46 Verknüpfungssteuerung mit Speicher, durch Druckentlastung betätigtes Stellglied

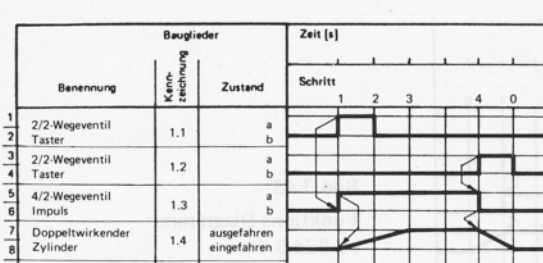


Bild 3.47
Funktions-Diagramm
zu Bild 3.46

Als Signalglieder werden 2/2-Wegeventile verwendet, die sich durch kleine Abmessungen und geringe Betätigungskräfte besonders für den Einbau in Vorrichtungen und Maschinen eignen.

Im Funktions-Diagramm Bild 3.47 ist der Arbeitsablauf dieser Steuerkette dargestellt:

Schritt 1 – Das Signalglied (Gerät 1.1, 2/2-Wegeventil wird durch Muskelkraft in Schaltstellung a gebracht, wodurch Anschluß P mit Entlüftung R verbunden und der Anschluß Y des Stellgliedes (Gerät 1.3, 4/2-Wegeventil) entlüftet wird. Dieses Signal (Entlüftung des Anschluß Y) bewirkt, daß das Stellglied von Schaltstellung b in Schaltstellung a geschaltet wird. Die Folge dieser Umsteuerung ist das Ausfahren der Kolbenstange des doppeltwirkenden Zylinders (Gerät 1.4).

Schritt 2 – Die Betätigungskraft wird vom Signalglied (Gerät 1.1) genommen, das Ventil schaltet in Ruhestellung. In der Steuerleitung baut sich zwischen P und Y wieder Druck auf.

Schritt 3 – Die Kolbenstange ist ausgefahren.

Schritt 4 – Das Signalglied (Gerät 1.2, 2/2-Wegeventil) wird durch Muskelkraft in Schaltstellung a gebracht, wodurch der Anschluß X des Stellgliedes (Gerät 1.3) entlüftet wird. Dadurch wird das Stellglied in Schaltstellung b gebracht, was wiederum das Einfahren der Kolbenstange bewirkt.

Schritt 5 – Die Betätigungskraft wird vom Signalglied (Gerät 1.3) genommen, das Ventil schaltet in Ruhestellung.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren.

3.8.4 Wegplansteuerungen für doppeltwirkende Zylinder

3.8.4.1 Ein Arbeitsspiel nach dem Startimpuls

Wenn durch einen Startimpuls ein Arbeitsspiel eines doppeltwirkenden Zylinders, d.h. Ausfahren und Einfahren der Kolbenstange, eingeleitet werden soll, ist die Steuerkette nach Bild 3.48 aufzubauen. Voraussetzung für den Aufbau dieser Steuerkette ist, daß die vorderste Stellung der Kolbenstange durch ein Signalglied kontrolliert werden kann. Die Umsteuerung des Stellgliedes und damit das Einfahren der Kolbenstange erfolgt erst, wenn das Signalglied (Gerät 1.2) angefahren wird. Die Kolbenstange muß immer den vorbestimmten Weg bis zum Umsteuerungspunkt durchfahren. Diese Steuerungen werden daher Wegplansteuerungen genannt.

Die Geräte der Steuerkette werden unabhängig von ihrer Lage in der Vorrichtung oder Maschine von unten nach oben in Richtung des Energieflusses gezeichnet. Die Lage der Sig-

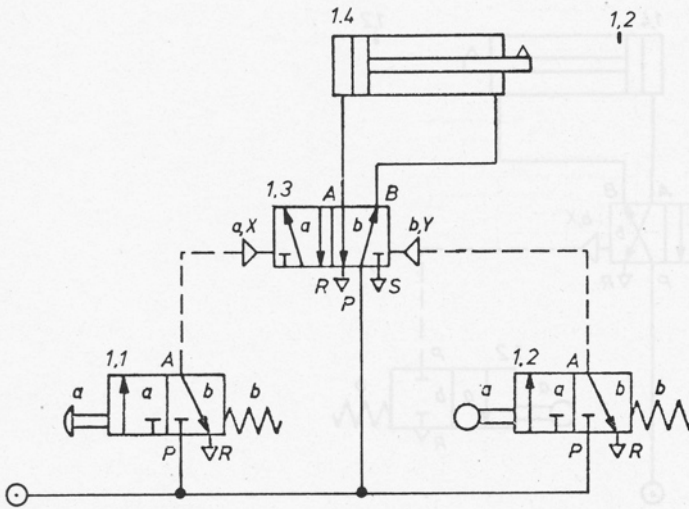


Bild 3.48 Wegplansteuerung für doppeltwirkenden Zylinder. Ein Arbeitsspiel nach dem Startimpuls, durch Druckbeaufschlagung betätigtes Stellglied.

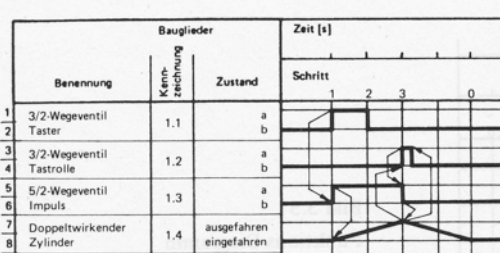


Bild 3.49
Funktions-Diagramm
zu Bild 3.48

nalglieder bezüglich der Antriebsglieder wird durch einen Markierungsstrich und die Gerätenummer festgelegt.

Das Funktions-Diagramm zu dieser Steuerkette ist in Bild 3.49 dargestellt:

Schritt 1 – Das Signalglied (Gerät 1.1, 3/2-Wegeventil) wird durch Muskelkraft in Schaltstellung a gedrückt, dadurch wird ein Signal an das Stellglied (Gerät 1.3, 5/2-Wegeventil) gegeben und dieses von Schaltstellung b in Schaltstellung a gebracht. Die Umsteuerung des Stellgliedes bewirkt das Ausfahren der Kolbenstange.

Schritt 2 – Die Betätigungskraft wird vom Gerät 1.1 genommen, das Gerät geht in die Ruhelage.

Schritt 3 – Die Kolbenstange ist in der Endstellung angelangt und betätigt durch einen Nocken an der Kolbenstange oder an der durch die Kolbenstange bewegten Baueinheit das Signalglied (Gerät 1.2, 3/2-Wegeventil mit Tastrolle). Sobald das Gerät 1.2 in Schaltstellung a gebracht ist, wird ein Signal an den Anschluß Y des Gerätes 1.3 gegeben. Dieses Signal schaltet das Gerät 1.3 in Schaltstellung b der Anschluß B wird mit Anschluß P verbunden und die Kolbenstange fährt ein.

3.8.4.2 Kontinuierlicher Arbeitsablauf nach Betätigen des Startventiles, durch Druckbeaufschlagung betätigtes Stellglied

Ein fortlaufendes Ausfahren und Einfahren der Kolbenstange bei einem doppeltwirkenden Zylinder kann durch den Aufbau der Steuerkette nach Bild 3.52 erreicht werden. Beide Endlagen des Kolbenstangenweges werden durch Signalglieder kontrolliert, welche das Stellglied steuern.

Die Geräte der Steuerkette werden immer in Ausgangsstellung dargestellt.

Als Ausgangsstellung bezeichnet man jene Schaltstellung, die die beweglichen Teile in den Ventilen nach dem Einschalten des Netzdruckes und/oder des elektrischen Stromes einnehmen und mit der das vorgesehene Schaltprogramm beginnt.

In der Ausgangsstellung ist das Signalglied (Gerät 1.2, 3/2-Wegeventil) betätigt. Der Markierungsstrich, der die Lage des Signalgliedes zum Antriebsglied bestimmt, liegt genau über dem Nocken auf der Kolbenstange des Zylinders.

Die Leitungen sind an die Schaltstellung a des Sinnbildes herangezogen und durch den bildlich dargestellten Nocken am Betätigungselement ist noch besonders darauf hingewiesen, daß dieses Signalglied betätigt ist.

Das 3/2-Wegeventil mit Hebelbetätigung kann in beiden Schaltstellungen festgelegt werden und dient als Startventil. Wird während des Kolbenstangenvorlaufes das Gerät 1.1

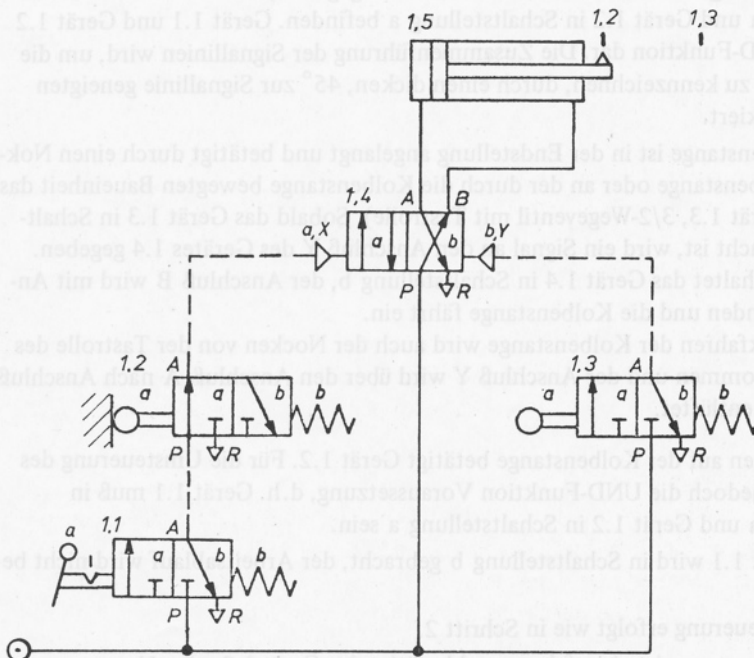


Bild 3.52 Wegplansteuerung für doppeltwirkenden Zylinder. Kontinuierlicher Arbeitsablauf, durch Druckbeaufschlagung betätigtes Stellglied.

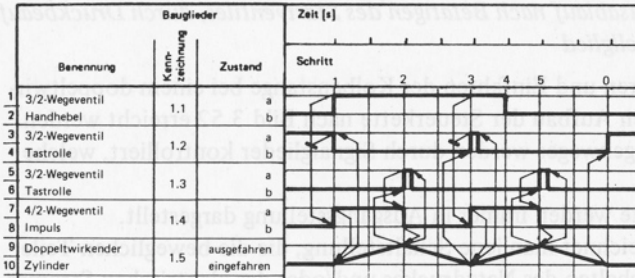


Bild 3.53

Funktions-Diagramm
zu Bild 3.52

in die Schaltstellung a geschaltet, so wird das begonnene Arbeitsspiel noch bis zum Ende ausgeführt, d.h. die Kolbenstange fährt bis in die vordere Endlage und dann zurück bis in die hintere Endlage und bleibt dort stehen.

Im Funktions-Diagramm Bild 3.53 ist der Arbeitsablauf festgelegt:

Schritt 1 – Das Signalglied (Gerät 1.1, 3/2-Wegeventil mit Hebelbetätigung) wird durch Muskelkraft in Stellung a geschaltet und die Druckluft strömt durch das betätigte Signalglied (Gerät 1.2, 3/2-Wegeventil) zum Anschluß X des Stellgliedes (Gerät 1.4, 4/2-Wegeventil). Dieses Signal wird nur an den Anschluß X gegeben, wenn sich Gerät 1.1 in Schaltstellung a und Gerät 1.2 in Schaltstellung a befinden. Gerät 1.1 und Gerät 1.2 stellen eine UND-Funktion dar. Die Zusammenführung der Signallinien wird, um die UND-Funktion zu kennzeichnen, durch einen dicken, 45° zur Signallinie geneigten Querstrich markiert.

Schritt 2 – Die Kolbenstange ist in der Endstellung angelangt und betätigt durch einen Nocken an der Kolbenstange oder an der durch die Kolbenstange bewegten Baueinheit das Signalglied (Gerät 1.3, 3/2-Wegeventil mit Tastrolle). Sobald das Gerät 1.3 in Schaltstellung a gebracht ist, wird ein Signal an den Anschluß Y des Gerätes 1.4 gegeben. Dieses Signal schaltet das Gerät 1.4 in Schaltstellung b, der Anschluß B wird mit Anschluß P verbunden und die Kolbenstange fährt ein. Mit dem Zurückfahren der Kolbenstange wird auch der Nocken von der Tastrolle des Gerätes 1.3 genommen und der Anschluß Y wird über den Anschluß A nach Anschluß R im Gerät 1.3 entlüftet.

Schritt 3 – Der Nocken auf der Kolbenstange betätigt Gerät 1.2. Für die Umsteuerung des Gerätes 1.4 ist jedoch die UND-Funktion Voraussetzung, d.h. Gerät 1.1 muß in Schaltstellung a und Gerät 1.2 in Schaltstellung a sein.

Schritt 4 – Das Gerät 1.1 wird in Schaltstellung b gebracht, der Arbeitsablauf wird nicht beeinflusst.

Schritt 5 – Die Umsteuerung erfolgt wie in Schritt 2.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren und betätigt das Gerät 1.3, eine Umsteuerung des Gerätes 1.4 kann nicht erfolgen, da Gerät 1.1 in Schaltstellung b ist und die Druckluftzufuhr zum Gerät 1.2 sperrt.

3.8.4.3 Kontinuierlicher Arbeitsablauf nach Betätigen des Startventiles, durch Druckentlastung betätigtes Stellglied

Die Funktion der in Bild 3.54 dargestellten Steuerkette entspricht der Beschreibung in Abschnitt 3.8.4.2.

Der Aufbau der Steuerkette unterscheidet sich dadurch, daß das Stellglied Gerät 1.4 ein 4/2-Wegeventil mit Betätigung durch Druckentlastung ist. Die Signalglieder sind daher 2/2-Wegeventile und es ist nur ein einziger Druckanschluß notwendig.

Das Startventil (Gerät 1.3, 3/2-Wegeventil mit Handhebelbetätigung) liegt in der Leitung zwischen Anschluß Y am Gerät 1.4 und Anschluß P am Gerät 1.1.

Im Funktions-Diagramm Bild 3.55 ist der Arbeitsablauf dieser Steuerkette festgelegt: Schritt 1 – Die Kolbenstange ist eingefahren, Signalglied Gerät 1.1 ist betätigt. Das Startventil Gerät 1.3 wird in Schaltstellung a gebracht, wodurch der Anschluß Y am Gerät 1.4 entlüftet wird und Gerät 1.4 in Schaltstellung a umsteuert. Die Kolbenstange fährt aus und das Signalglied Gerät 1.1 geht in Schaltstellung b.

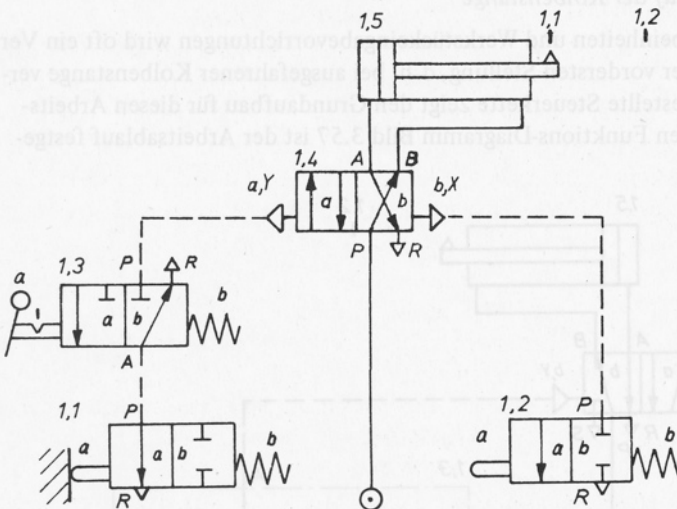


Bild 3.54 Wegplansteuerung für doppeltwirkenden Zylinder. Kontinuierlicher Arbeitsablauf, durch Druckentlastung betätigtes Stellglied.

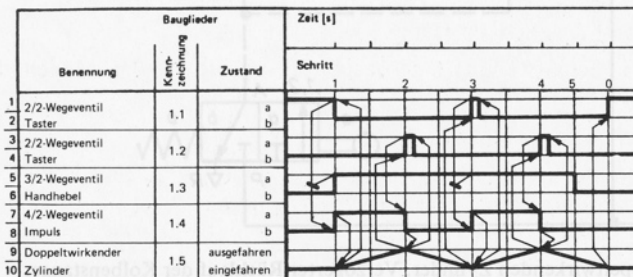


Bild 3.55
Funktions-Diagramm
zu Bild 3.54

Schritt 2 – Die Kolbenstange ist ausgefahren und betätigt das Signalglied Gerät 1.2. Der Anschluß X am Gerät 1.4 wird entlüftet und dadurch wird das Stellglied Gerät 1.4 in Schaltstellung b gebracht, die Kolbenstange fährt ein und gibt das Signalglied Gerät 1.2 wieder frei.

Schritt 3 – Die Kolbenstange ist eingefahren. Da Gerät 1.3 in Schaltstellung a ist, kann durch die Betätigung des Signalgliedes Gerät 1.1 die Umsteuerung des Stellgliedes Gerät 1.4 erfolgen (UND-Funktion) und die Kolbenstange fährt aus. Gerät 1.1 wird freigegeben.

Schritt 4 – Die Umsteuerung erfolgt wie in Schritt 2.

Schritt 5 – Das Startventil Gerät 1.3 wird in Schaltstellung b gebracht.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren, das Signalglied Gerät 1.1 wird betätigt. Die Umsteuerung des Stellgliedes kann nicht erfolgen, da die UND-Funktion nicht erfüllt ist.

3.8.4.4 Verzögerter Rücklauf der Kolbenstange

Bei Pressen, Vorschubeinheiten und Werkstückeingabevorrichtungen wird oft ein Verharren des Werkzeuges in der vordersten Stellung, d.h. bei ausgefahrener Kolbenstange verlangt. Die in Bild 3.56 dargestellte Steuerkette zeigt den Grundaufbau für diesen Arbeitsablauf. In dem dazugehörigen Funktions-Diagramm Bild 3.57 ist der Arbeitsablauf festgelegt.

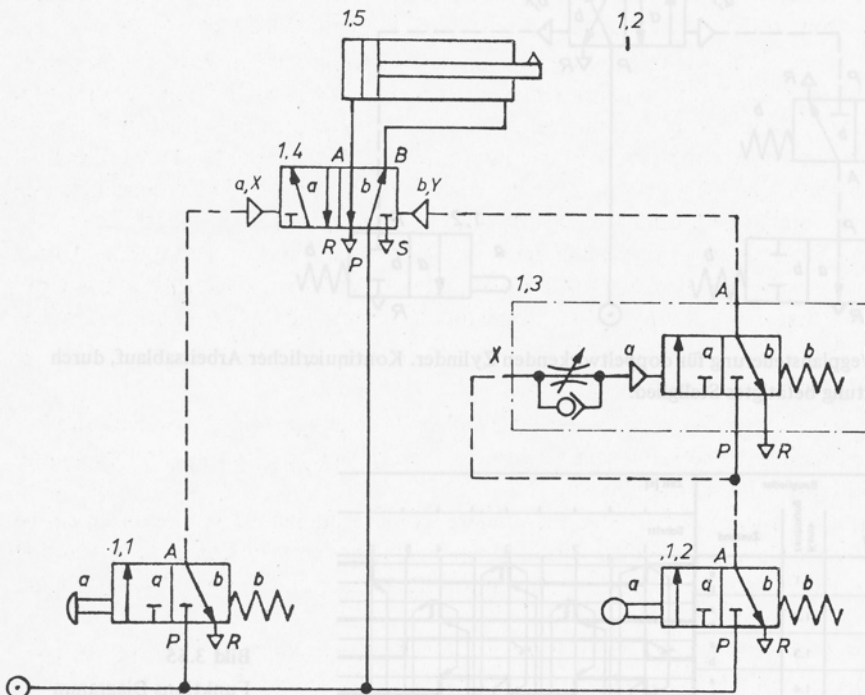


Bild 3.56 Wegplansteuerung für doppelwirkenden Zylinder. Verzögerter Rücklauf der Kolbenstange.

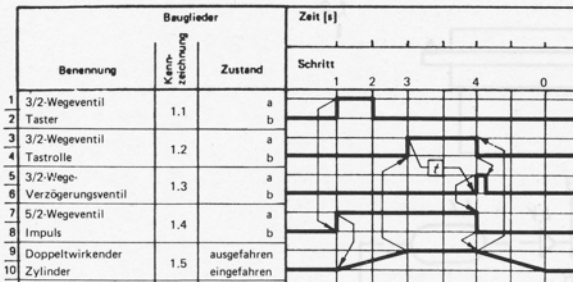


Bild 3.57
Funktions-Diagramm
zu Bild 3.56

Schritt 1 – Von Hand wird das Signalglied, (Gerät 1.1, 3/2-Wegeventil) in Schaltstellung a gebracht und dadurch das Stellglied (Gerät 1.4, 5/2-Wegeventil) umgesteuert. Die Kolbenstange fährt aus.

Schritt 2 – Die Betätigungskraft wird vom Gerät 1.1 genommen.

Schritt 3 – Die Kolbenstange ist ausgefahren und das Signalglied Gerät 1.2 wird durch die Kolbenstange oder die Baueinheit betätigt, d.h. in Schaltstellung a gebracht. An den Anschlüssen P und X des Gerätes 1.3 steht Druckluft an. Am Anschluß X kann durch das Drosselrückschlagventil entsprechend der eingestellten Drosselöffnung mehr oder weniger Druckluft in den Speicher strömen, im Speicher baut sich langsam Druck auf. Dieser Zustand wird durch die parallel zur Funktionslinie des Verzögerungsventiles gezogen und mit der Zeitangabe $t \dots$ s gekennzeichneten Signallinie dargestellt.

Schritt 4 – Der zum Umschalten des Verzögerungsventiles notwendige Druck ist im Speicher erreicht, das Verzögerungsventil schaltet von der Ruhe-Stellung in die Schaltstellung a. Der Anschluß P wird mit dem Anschluß A verbunden und das vom Gerät 1.2 abgegebene Signal gelangt zum Steueranschluß Y des Stellgliedes Gerät 1.4. Das Stellglied wird umgesteuert und die Kolbenstange fährt ein. Sobald die Kolbenstange ihre vorderste Stellung verläßt, wird das Signalglied Gerät 1.2 durch die eingebaute Feder in die Ruhe-Stellung gebracht und die Steuerleitung zwischen Anschluß A am Gerät 1.3 und Anschluß Y am Gerät 1.4 entlüftet. Durch das Drosselrückschlagventil wird auch der Speicher des Verzögerungselementes entlüftet und die Feder bringt das Gerät 1.3 in die Ruhe-Stellung.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren.

Die Steuerkette in Bild 3.58 erfüllt die gleichen Bedingungen wie die Steuerkette in Bild 3.56. Die ausgefahrene Kolbenstange verharrt eine einstellbare Zeit in der vordersten Stellung und fährt dann selbständig ein.

Das in der Steuerkette Bild 3.56 verwendete Verzögerungsventil ist hier durch ein bedeutend billigeres Drosselrückschlagventil und einen Speicher ersetzt. Der in der Steuerung als Gerät 1.4 angegebene Speicher läßt sich einfach durch eine Spirale der Steuerleitung herstellen (siehe Abschnitt 2.8.2.2).

Bei der Verwendung von nicht überschneidungsfrei arbeitenden Stellgliedern ist jedoch zu prüfen, ob sich, infolge des langsamen Druckaufbaues im Steuerzylinder des Stellgliedes, nicht Störungen im Arbeitsablauf ergeben.

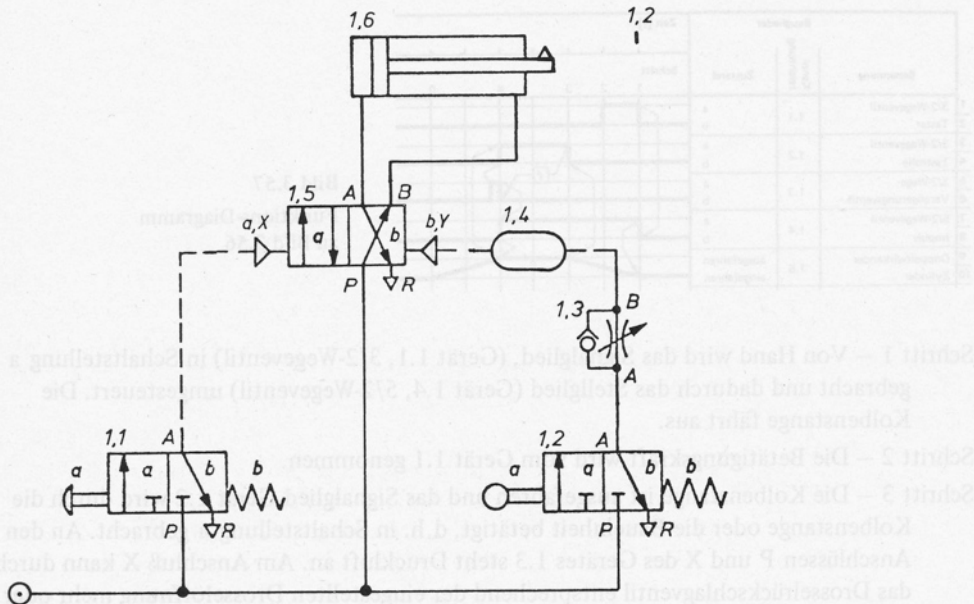


Bild 3.58 Wegplansteuerung für doppeltwirkenden Zylinder. Verzögerter Rücklauf der Kolbenstange.

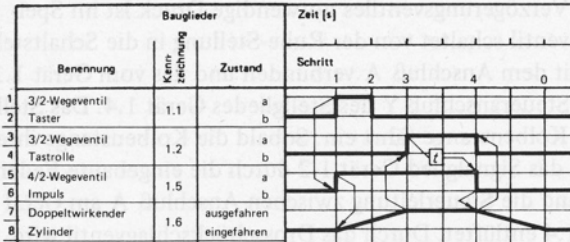


Bild 3.59
Funktions-Diagramm
zu Bild 3.58

Im Funktions-Diagramm Bild 3.59 ist der Arbeitsablauf festgelegt:

Schritt 1 – Startimpuls von Gerät 1.1 an Gerät 1.5, die Kolbenstange fährt aus.

Schritt 2 – Gerät 1.1 zurück in Ruhe-Stellung.

Schritt 3 – Kolbenstange in vorderster Stellung, Signalglied Gerät 1.2 wird betätigt. Durch das Drosselrückschlagventil kann die Druckluft nur langsam strömen. Der Druck am Anschluß Y des Gerätes 1.5 baut sich langsam auf.

Schritt 4 – Der notwendige Umschaltedruck ist erreicht, Gerät 1.5 wird in Schaltstellung b gebracht und die Kolbenstange fährt ein. Dadurch wird das Signalglied Gerät 1.2 entlastet und der Anschluß Y des Gerätes 1.5 über das Rückschlagventil des Gerätes 1.3 entlüftet.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren.

Die Geräte 1.3 (Drosselrückschlagventil) und 1.4 (Speicher) haben keine Schaltstellungen, sie dienen als Zeitglied, d.h. sie stellen eine Verzögerung dar und brauchen im Funktions-Diagramm nicht als Gerät aufgeführt werden.

3.8.5 Zeitgeführte Ablaufsteuerungen für doppeltwirkende Zylinder

Wenn aus konstruktiven Gründen die Endlagen der Kolbenstange bzw. die Endlagen der bewegten Teile der Baueinheit nicht durch Signalglieder abgetastet werden können, besteht die Möglichkeit, den Arbeitsablauf zeitabhängig zu steuern. Da bei diesen Steuerungen die Endlagen der bewegten Teile nicht kontrolliert werden, ist keine Sicherheit gegeben, daß jede Bewegung im Arbeitsablauf vollständig ausgeführt worden ist. Zeitabhängige Folgesteuerungen sollen daher nur für untergeordnete Bewegungen eingesetzt werden, oder die Bewegungen, die durch den weiteren Arbeitsablauf kontrolliert werden und die Störung selbständig melden.

3.8.5.1 Ein Arbeitsspiel nach dem Startimpuls

In der Steuerung nach Bild 3.60 wird ein doppeltwirkender Zylinder durch ein 5/2-Wege-Impulsventil gesteuert. 2 Signalglieder geben die Steuerimpulse. Eines der Signalglieder wird mechanisch, das andere pneumatisch betätigt.

Im Funktions-Diagramm Bild 3.61 ist der Arbeitsablauf festgelegt:

Schritt 1 – Vom Signalglied Gerät 1.1 wird der Startimpuls an das Stellglied Gerät 1.3 gegeben. Gerät 1.3 wird dadurch in Schaltstellung a gebracht, Anschluß P wird mit An-

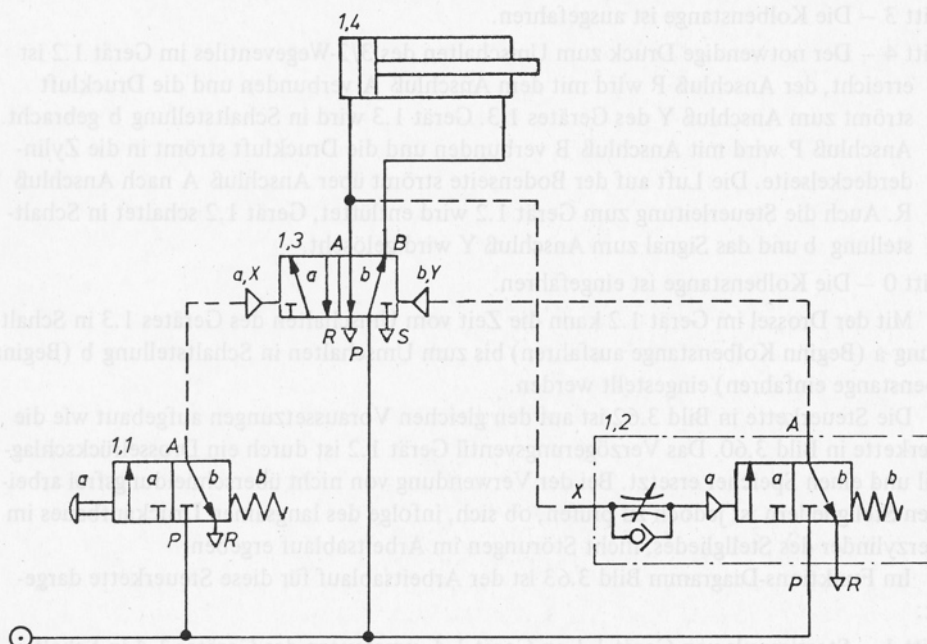


Bild 3.60 Zeitgeführte Ablaufsteuerung für doppeltwirkenden Zylinder. Ein Arbeitsspiel nach dem Startimpuls.

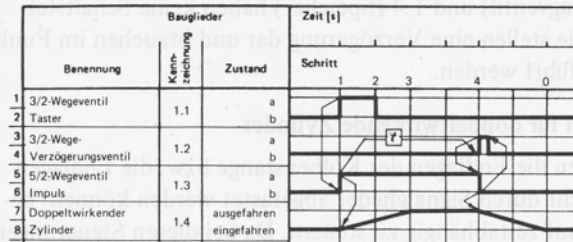


Bild 3.61

Funktions-Diagramm zu
Bild 3.60

schluß A verbunden, die Druckluft strömt in den Zylinder, und die Kolbenstange wird ausgefahren. Anschluß B wird mit Entlüftung R verbunden und die Luft aus der Kolbenstangenseite des Zylinders kann entweichen. Von der Arbeitsluftleitung, nach dem Anschluß A des Gerätes 1.3, ist eine Steuerleitung zum Anschluß X des Verzögerungsventiles Gerät 1.2 geführt. Nach dem Umschalten des Stellgliedes in Schaltstellung a wird auch diese Steuerleitung und damit der Anschluß X des Gerätes 1.2 belüftet. (Dargestellt durch die Signallinie vom Umschaltpunkt des Gerätes 1.3 zur Funktionslinie "Zustand b" des Gerätes 1.2. Die Drosselöffnung im Gerät 1.2 bestimmt die Zeit bis zum Umschalten des 3/2-Wegeventiles. (Dargestellt durch die parallel zur Funktionslinie verlaufende, mit dem Funktionszeichen t bezeichnete, Signallinie.)

Schritt 2 – Die Betätigungskraft wird vom Gerät 1.1 genommen.

Schritt 3 – Die Kolbenstange ist ausgefahren.

Schritt 4 – Der notwendige Druck zum Umschalten des 3/2-Wegeventiles im Gerät 1.2 ist erreicht, der Anschluß P wird mit dem Anschluß A verbunden und die Druckluft strömt zum Anschluß Y des Gerätes 1.3. Gerät 1.3 wird in Schaltstellung b gebracht. Anschluß P wird mit Anschluß B verbunden und die Druckluft strömt in die Zylinderderdeckelseite. Die Luft auf der Bodenseite strömt über Anschluß A nach Anschluß R. Auch die Steuerleitung zum Gerät 1.2 wird entlüftet, Gerät 1.2 schaltet in Schaltstellung b und das Signal zum Anschluß Y wird gelöscht.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren.

Mit der Drossel im Gerät 1.2 kann die Zeit vom Umschalten des Gerätes 1.3 in Schaltstellung a (Beginn Kolbenstange ausfahren) bis zum Umschalten in Schaltstellung b (Beginn Kolbenstange einfahren) eingestellt werden.

Die Steuerkette in Bild 3.62 ist auf den gleichen Voraussetzungen aufgebaut wie die Steuerkette in Bild 3.60. Das Verzögerungsventil Gerät 1.2 ist durch ein Drosselrückschlagventil und einen Speicher ersetzt. Bei der Verwendung von nicht überschneidungsfrei arbeitenden Stellgliedern ist jedoch zu prüfen, ob sich, infolge des langsamen Druckaufbaues im Steuerzylinder des Stellgliedes, nicht Störungen im Arbeitsablauf ergeben.

Im Funktions-Diagramm Bild 3.63 ist der Arbeitsablauf für diese Steuerkette dargestellt:

Schritt 1 – Startimpuls von Gerät 1.1 an Gerät 1.4, umsteuern des Gerätes 1.4 in Schaltstellung a, Kolbenstange fährt aus und der Speicher zwischen dem Drosselrückschlagventil und Anschluß Y am Gerät 1.4 wird aufgeladen.

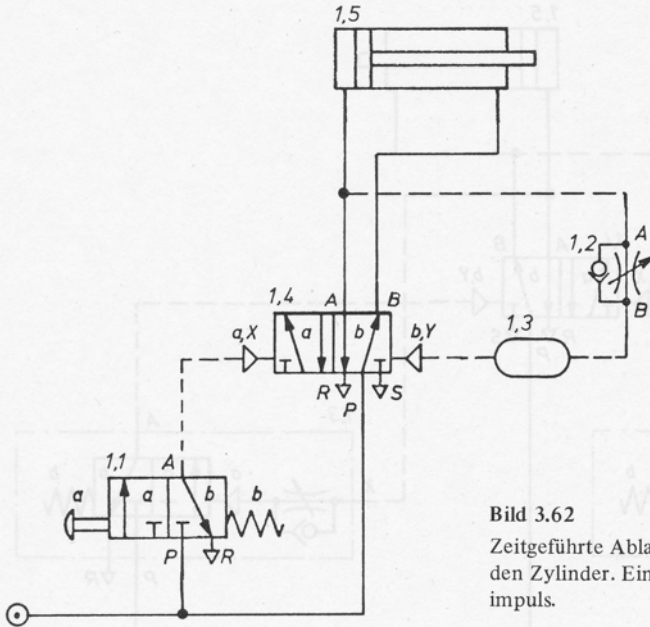


Bild 3.62

Zeitgeführte Ablaufsteuerung für doppelwirkenden Zylinder. Ein Arbeitsspiel nach dem Startimpuls.

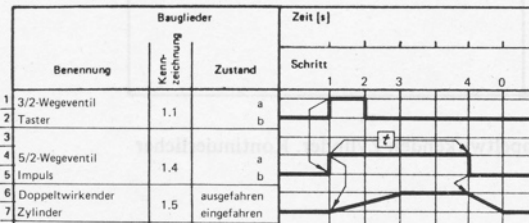


Bild 3.63

Funktions-Diagramm zu Bild 3.62

Schritt 2 – Die Betätigungskraft wird vom Gerät 1.1 genommen.

Schritt 3 – Die Kolbenstange ist ausgefahren.

Schritt 4 – Im Speicher ist der Umschaltdruck erreicht, Gerät 1.4 wird von Schaltstellung a in Schaltstellung b gebracht. Die Kolbenstange fährt ein.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren.

3.8.5.2 Kontinuierlicher Arbeitsablauf nach Betätigen des Startventiles

Das fortlaufende Ausfahren und Einfahren der Kolbenstange eines doppelwirkenden Zylinders, bei dem die Endlagen nicht abgetastet werden können, wird durch den Aufbau der Steuerkette nach Bild 3.64 erreicht.

Die Verzögerungsventile steuern das Stellglied, je nach der Einstellung der Drosselschraube, in längeren oder kürzeren Zeitabständen von einer Schaltstellung in die andere.

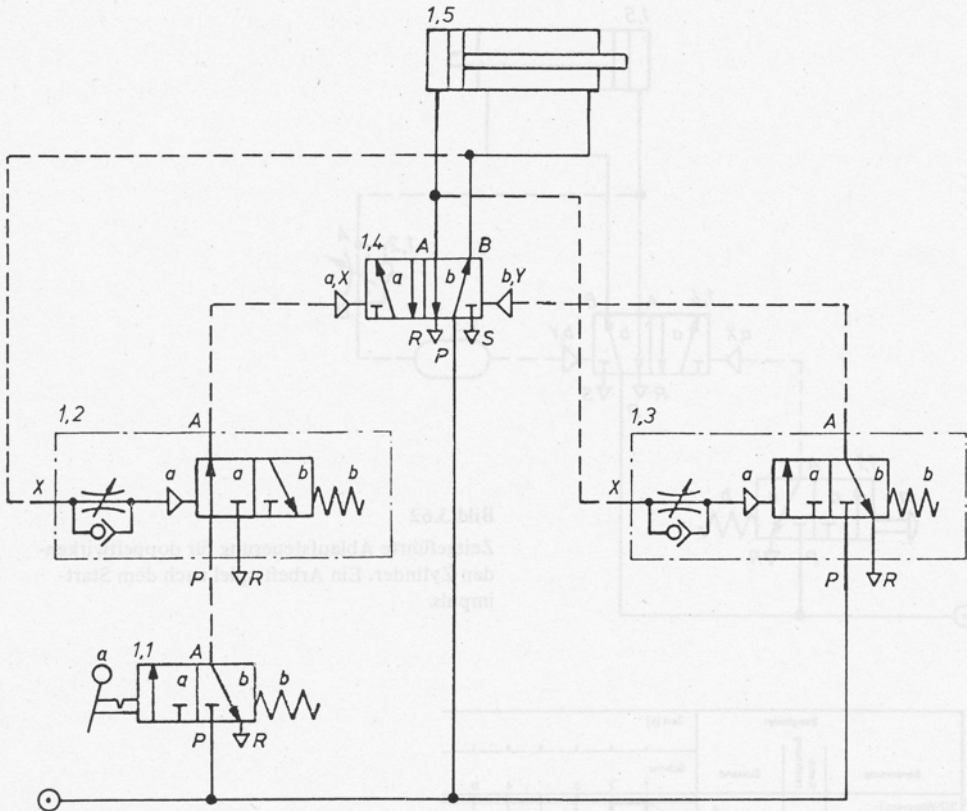


Bild 3.64 Zeitgeführte Ablaufsteuerung für doppeltwirkenden Zylinder. Kontinuierlicher Arbeitsablauf.

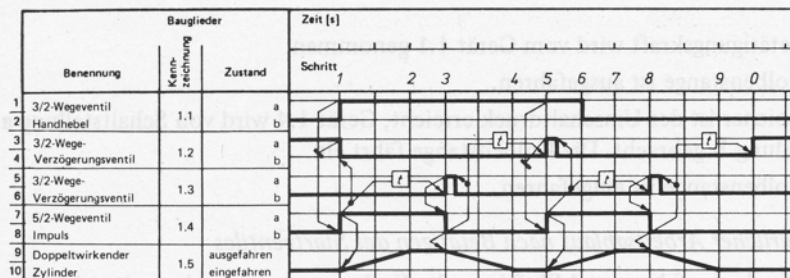


Bild 3.65 Funktions-Diagramm zu Bild 3.64

Im Funktions-Diagramm Bild 3.65 ist der Arbeitsablauf dieser Steuerkette festgelegt:

Ausgangsstellung – Das Stellglied Gerät 1.4 ist in Schaltstellung b, es wird von P nach B durchströmt. Die Kolbenstange ist eingefahren. Das Gerät 1.2 (3/2-Wege-Verzögerungsventil) ist, da der Anschluß X belüftet ist, in Schaltstellung a.

Schritt 1 – Gerät 1.1 wird von Schaltstellung b in Schaltstellung a gebracht. Durch das Gerät 1.2 (UND-Funktion zwischen Gerät 1.1 und Gerät 1.2) strömt die Druckluft zum Anschluß X des Gerätes 1.4 und bringt dieses in Schaltstellung a. Im Gerät 1.4 wird der Anschluß P mit dem Anschluß A verbunden, die Kolbenstange beginnt auszufahren und gleichzeitig wird der Anschluß X des Gerätes 1.3 belüftet. Der Anschluß X des Gerätes 1.2 wird entlüftet, die Feder bringt die beweglichen Teile des Gerätes in die Ruhe-Stellung.

Schritt 2 – Die Kolbenstange ist ausgefahren.

Schritt 3 – Im Speicher des Gerätes 1.3 ist der Umschaltedruck erreicht, (waagerechte Signallinie mit Funktionszeichen t), das Ventil wird in Schaltstellung a gebracht und die Druckluft hat Durchgang zum Anschluß Y des Gerätes 1.4. Gerät 1.4 wird in Schaltstellung b gebracht, die Kolbenstange beginnt einzufahren und der Anschluß X des Gerätes 1.3 wird entlüftet. Das Gerät 1.3 schaltet in die Ruhe-Stellung. Der Anschluß X des Gerätes 1.2 wird belüftet.

Schritt 4 – Die Kolbenstange ist eingefahren.

Schritt 5 – Im Speicher des Gerätes 1.2 ist der Umschaltedruck erreicht, Gerät 1.1 ist noch in Schaltstellung a, die Druckluft kann beide Ventile durchströmen (UND-Funktion) und der Anschluß X des Gerätes 1.4 wird belüftet. Gerät 1.4 wird in Schaltstellung a gebracht. Die Kolbenstange beginnt auszufahren. Der Anschluß X des Gerätes 1.2 wird entlüftet, der Anschluß X des Gerätes 1.3 wird belüftet.

Schritt 6 – Gerät 1.1 wird von Schaltstellung a in Schaltstellung b gebracht.

Schritt 7 – Die Kolbenstange ist ausgefahren.

Schritt 8 – Im Gerät 1.3 ist der Umsteuerdruck erreicht, es wird in Schaltstellung a gebracht. Am Stellglied wird der Anschluß Y belüftet und es wird von Schaltstellung a in Schaltstellung b umgesteuert. Die Kolbenstange beginnt einzufahren. Anschluß X des Gerätes 1.2 wird entlüftet, Anschluß X des Gerätes 1.3 wird belüftet.

Schritt 9 – Die Kolbenstange ist eingefahren.

Schritt 0 – Im Gerät 1.2 ist der Umschaltedruck erreicht, das Ventil wird in Schaltstellung a gebracht. Da aber im Schritt 5 das Gerät 1.1 in Schaltstellung b geschaltet wurde, ist die Druckluftzufuhr zum Anschluß X des Gerätes 1.4 gesperrt, es kann keine Umsteuerung erfolgen, die Kolbenstange bleibt eingefahren. Durch das Umschalten des Handhebelventiles Gerät 1.1 wie im Schritt 0 beschrieben, erfolgt ein neuer Arbeitsablauf.

3.8.6 Wechselsteuerung

Bei einer Verknüpfungssteuerung mit Speicher ist ein Signalglied zum Einfahren der Kolbenstange und ein Signalglied zum Ausfahren der Kolbenstange notwendig. Soll die Kolbenstange abwechselnd durch die Betätigung eines Signalgliedes ein- und ausgefahren werden, ist die Steuerung nach Bild 3.66 aufzubauen.

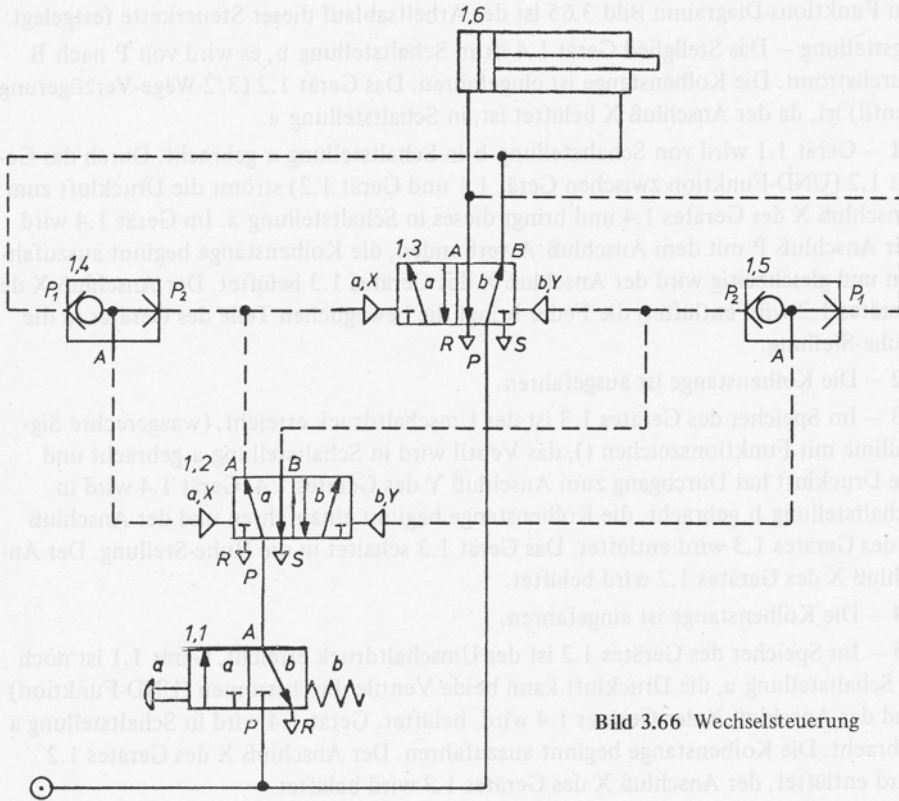


Bild 3.66 Wechselsteuerung

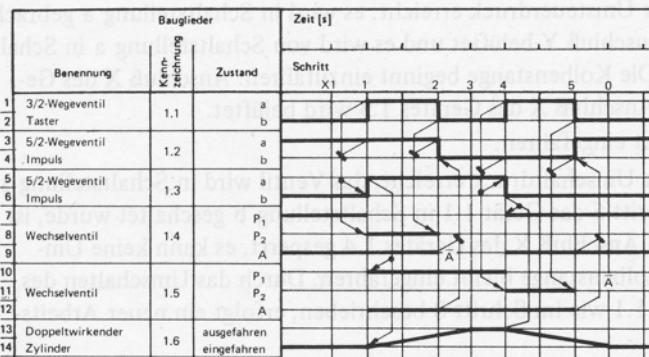


Bild 3.67 Funktions-Diagramm zu Bild 3.66

Im Funktions-Diagramm Bild 3.67 ist der Arbeitsablauf erklärt. Für die beiden Wechselventile (Gerät 1.4 und 1.5) sind je drei Funktionslinien P_1 , P_2 und A vorgesehen. Die Funktionslinien sind voll ausgezogen, wenn die Anschlüsse Druck führen, sie fehlen, wenn die Anschlüsse drucklos (mit der Atmosphäre verbunden) sind.

Ausgangsstellung X – Gerät 1.2 ist in Schaltstellung a, Gerät 1.3 ist in Schaltstellung b, die Kolbenstange ist eingefahren.

Schritt 1 – Das Gerät 1.1 wird betätigt, die Druckluft strömt durch das Gerät 1.2 zum Anschluß X des Gerätes 1.3 und über Anschluß P_2 und A des Gerätes 1.4 zum Anschluß X des Gerätes 1.2. Gerät 1.3 wird in Schaltstellung a gebracht, die Kolbenstange fährt aus. Anschluß P_1 des Gerätes 1.4 wird drucklos. Anschluß P_1 des Gerätes 1.5 wird beaufschlagt und damit über Anschluß A auch Anschluß Y des Gerätes 1.2. Am Gerät 1.2 sind beide Steueranschlüsse beaufschlagt, das Ventil bleibt in seiner Schaltstellung.

Schritt 2 – Die Betätigungskraft wird vom Gerät 1.1 genommen, dadurch wird die Luftzufuhr zu den Steueranschlüssen X der Geräte 1.2 und 1.3 gesperrt. Gerät 1.2 wird durch den, über die Anschlüsse P_1 und A des Gerätes 1.5 anstehenden Luftdruck in Schaltstellung b gebracht.

Schritt 3 – Die Kolbenstange ist ausgefahren.

Schritt 4 – Das Signallglied Gerät 1.1 wird betätigt, die Druckluft strömt durch das Gerät 1.2 zum Anschluß Y des Gerätes 1.3 und über die Anschlüsse P_2 und A des Gerätes 1.5 zum Steueranschluß Y des Gerätes 1.2. Gerät 1.3 wird in Schaltstellung b gebracht, die Kolbenstange fährt ein. Anschluß P_1 des Gerätes 1.5 wird drucklos. Anschluß P_1 des Gerätes 1.4 wird beaufschlagt und damit über Anschluß A auch der Anschluß X des Gerätes 1.2. Am Gerät 1.2 sind beide Steueranschlüsse beaufschlagt, das Ventil bleibt in seiner Schaltstellung.

Schritt 5 – Die Betätigungskraft wird vom Gerät 1.1 genommen, dadurch wird die Luftzufuhr zu den Steueranschlüssen Y des Gerätes 1.2 und 1.3 gesperrt. Gerät 1.2 wird durch den, über die Anschlüsse P_1 und A des Gerätes 1.4, anstehenden Luftdruck in Schaltstellung a gebracht.

Schritt 0 – Die Kolbenstange ist eingefahren. In der Steuerung hat sich der in der Ausgangsstellung beschriebene Zustand eingestellt. Durch die Betätigung des Gerätes 1.1 wird der Arbeitsablauf wiederholt.

3.8.7 Zweihand-Sicherheits-Auslösung

An Pressen, Maschinen und Vorrichtungen, bei denen niedergehende Stößel oder schließende Spannbacken eine Gefahrenquelle darstellen, müssen Sicherheitseinrichtungen angebracht werden, die verhindern, daß die Bedienungsperson in das schließende Werkzeug greifen kann.

Dies kann durch Schutzgitter geschehen, die das Auslösen der Vorrichtung oder Maschine nur dann ermöglichen, wenn sie geschlossen sind, oder die Schutzgitter betätigen in geschlossenem Zustand das Startsignallglied. Dabei ist zu beachten, daß das Startglied bei geöffnetem Schutz betätigt ist, und erst dann freigegeben wird, wenn der Schutz geschlossen ist (Bild 3.68).

Eine weitere Möglichkeit, die Bedienungsperson vor Unfällen zu bewahren ist, die Vorrichtung durch eine Zweihand-Sicherheits-Auslösung zu starten.

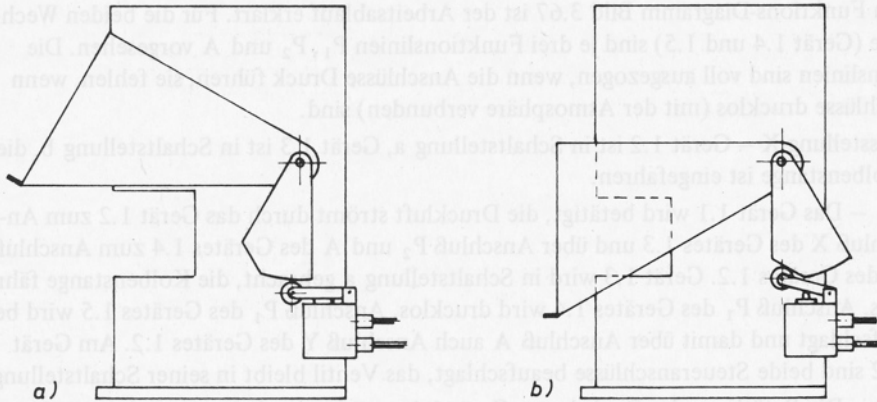


Bild 3.68 Schutzgitter betätigt Startventil

a) Schutz geöffnet – Ventil betätigt, b) Schutz geschlossen – Ventil nicht betätigt

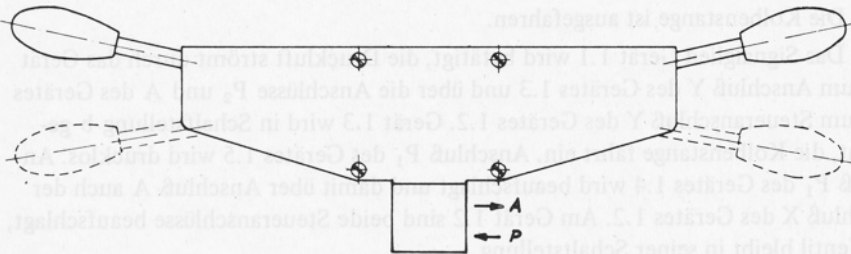


Bild 3.69 Zweihand-Sicherheits-Auslösegerät

3.8.7.1 Zweihand-Sicherheits-Auslösung mit mechanischen Auslöseteilen

Das in Bild 3.69 dargestellte Zweihand-Sicherheits-Auslösegerät besteht aus einem mechanischen Auslöseteil mit zwei Handhebeln und kann je nach Verwendungszweck mit einem 3/2-Wegeventil oder einem 4/2-Wegeventil ausgerüstet werden.

Zur Betätigung des eingebauten Ventiles müssen unbedingt beide Handhebel gleichzeitig niedergedrückt werden. Wird zuerst der eine und anschließend der andere Hebel niedergedrückt, wird das Ventil nicht betätigt. Werden nach dem gleichzeitigen Niederdrücken der beiden Hebel einer oder beide Hebel losgelassen, geht das eingebaute Ventil sofort in die Ruhestellung. Dieses Gerät eignet sich, wie die Steuerkette in Bild 3.70 darstellt, zum Auslösen von druckluftbetätigten Einrichtungen, die eine Zweihand-Sicherheits-Auslösung verlangen.

3.8.7.2 Pneumatische-Zweihand-Sicherheits-Auslösung

Die pneumatische Zweihand-Sicherheits-Auslösung bietet den Vorteil, daß die beiden Auslöseventile nicht mechanisch verbunden sind und daher vor oder neben der Vorrichtung, entsprechend der Vorschrift für Zweihand-Sicherheits-Auslösungen, möglichst griffgünstig angeordnet werden können.

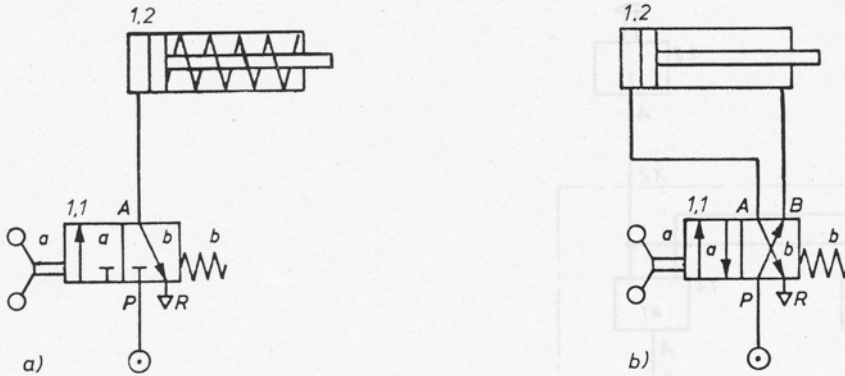


Bild 3.70 Steuerkette für Zweihand-Sicherheits-Auslösegerät
a) Einfachwirkender Zylinder, b) Doppeltwirkender Zylinder

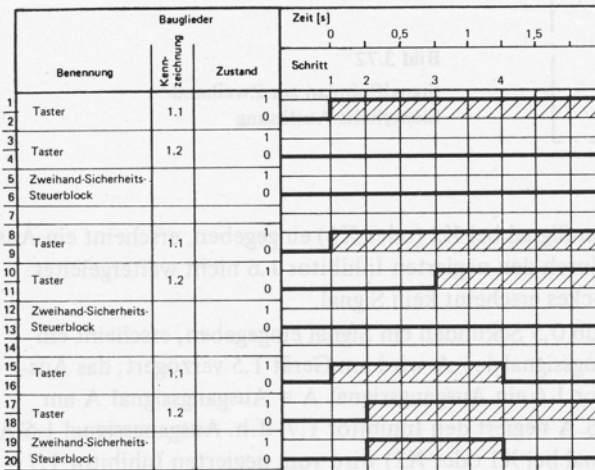


Bild 3.71 Funktions-Diagramm zur Darstellung der Zweihand-Sicherheits-Auslösung

Zweihand-Sicherheits-Auslösungen müssen dem in Bild 3.71 dargestellten Funktionsdiagramm genügen, d.h. am Anschluß A darf nur dann ein Signal erscheinen, wenn beide Steueranschlüsse X1 und X2 innerhalb einer Zeit von $< 0,5$ Sekunden beaufschlagt werden. Wird nach dem Erscheinen des Ausgangssignales A einer der beiden Steueranschlüsse drucklos, so muß auch das Signal am Ausgang A verschwinden. Um die in Bild 3.71 dargestellte Funktion zu erfüllen, ist eine Steuerung entsprechend dem Signalfußplan nach Bild 3.72 aufzubauen:

Ein Signal bei X1 (oder X2) erzeugt ein Ausgangssignal 1.4 A und nach 0,5 Sekunden ein Signal 1.5 A und 1.7 A. Durch das Ausgangssignal 1.7 A wird der Inhibitor 1.6 ne-

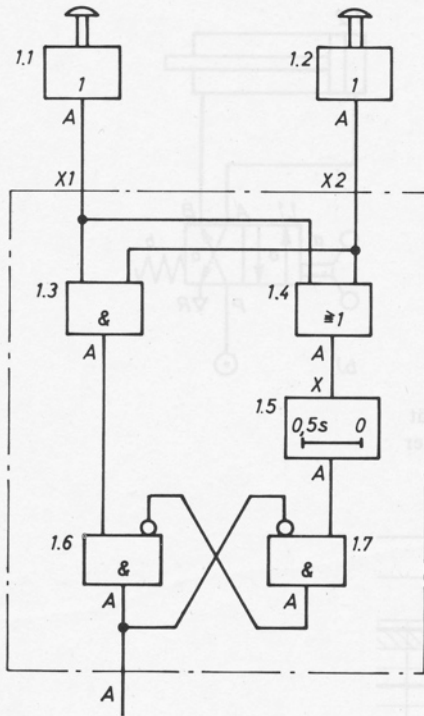


Bild 3.72

Signalflußplan zur Zweihand-Sicherheits-Auslösung

giert. Wird nach $> 0,5$ Sekunden ein Signal bei X2 (oder X1) eingegeben, erscheint ein Ausgangssignal 1.3 A, welches jedoch durch den negierten Inhibitor 1.6 nicht weitergeleitet wird. Am Ausgang A des Steuerblockes erscheint kein Signal.

Wird bei X1 UND X2 innerhalb 0,5 Sekunden ein Signal eingegeben, erscheint ein Signal 1.3 A und 1.4 A. Das Ausgangssignal 1.4 A wird am Gerät 1.5 verzögert; das Ausgangssignal 1.3 A ergibt am Inhibitor 1.6 ein Ausgangssignal A = Ausgangssignal A am Steuerblock. Das Ausgangssignal 1.6 A negiert den Inhibitor 1.7, d.h. Ausgangssignal 1.5 A (0,5 Sekunden nach dem ersten Signal bei X1 oder X2) wird vom negierten Inhibitor 1.7 nicht weitergeleitet.

Das Ausgangssignal A am Steuerblock verschwindet, wenn eines der beiden Eingangssignale X1 (oder X2) gelöscht werden, da die UND-Funktion des Gerätes 1.3 nicht erfüllt ist und damit auch das Ausgangssignal A am Inhibitor 1.6 verschwindet.

Da nach dem Verschwinden des Ausgangssignales 1.6 A das Ausgangssignal 1.7 A erscheint und dadurch der Inhibitor 1.6 negiert wird, kann durch ein Signal bei X2 (oder X1) kein Ausgangssignal A am Steuerblock erzeugt werden.

Erst wenn beide Signale bei X1 und X2 gelöscht werden, kann durch Betätigung der Signalglieder 1.1 und 1.2, innerhalb 0,5 Sekunden, das Ausgangssignal A am Steuerblock erzeugt werden.

Die Realisierung dieses Signalflußplanes ist in dem Geräteplan Bild 3.73 dargestellt, d.h. die Steuerung kann aus handelsüblichen Bauelementen zusammengebaut werden, wobei allerdings der Nachteil beachtet werden muß, daß Leckstellen im System die Sicherheit

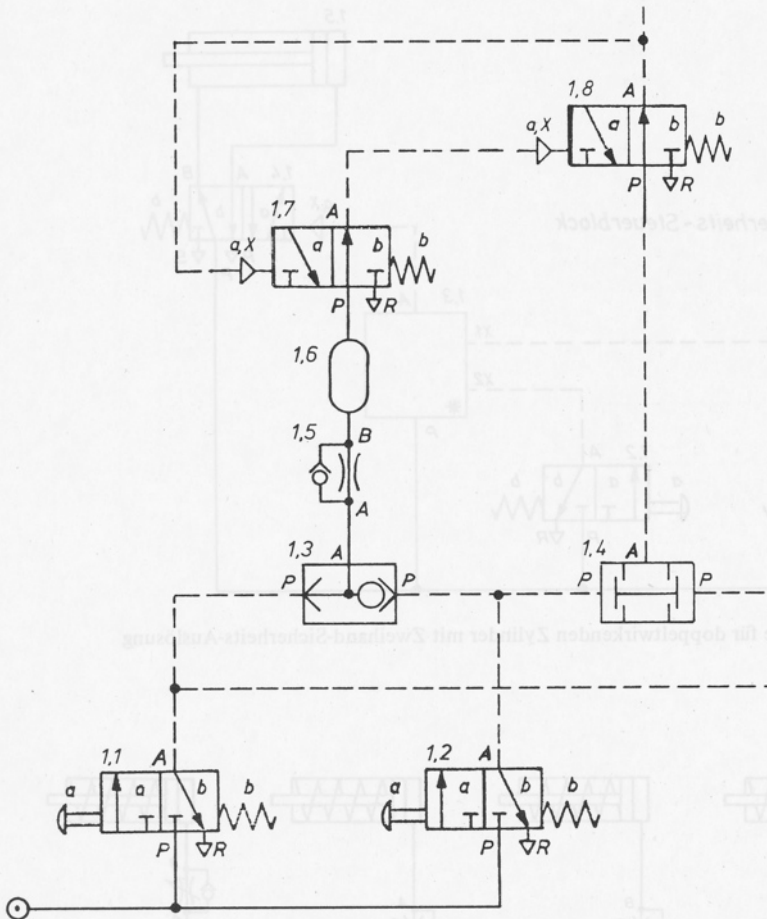


Bild 3.73 Geräteplan zur Zweihand-Sicherheits-Auslösung

dieser Steuerung stören. Es ist daher zu empfehlen, Zweihand-Sicherheits-Steuerblöcke, wie sie von verschiedenen Herstellern angeboten werden, zu verwenden. Diese Geräte sind zu einem kompakten Block zusammengebaut und bieten größere Sicherheit als die aus Einzelgeräten zusammengebauten Steuerungen.

Die Steuerkette für einen doppelwirkenden Zylinder mit pneumatischer Zweihand-Sicherheits-Auslösung ist in Bild 3.74 dargestellt.

3.8.8 Regelung der Kolbenstangengeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit der Kolbenstange ist von der in den Zylinder einströmenden Luftmenge pro Zeiteinheit abhängig. Mit einem Stromregelventil kann daher die Geschwindigkeit der Kolbenstange beeinflusst werden. In den meisten Fällen wird nicht auf eine sehr schnelle, sondern auf eine möglichst gleichmäßige Kolbenstangenbewegung Wert gelegt.

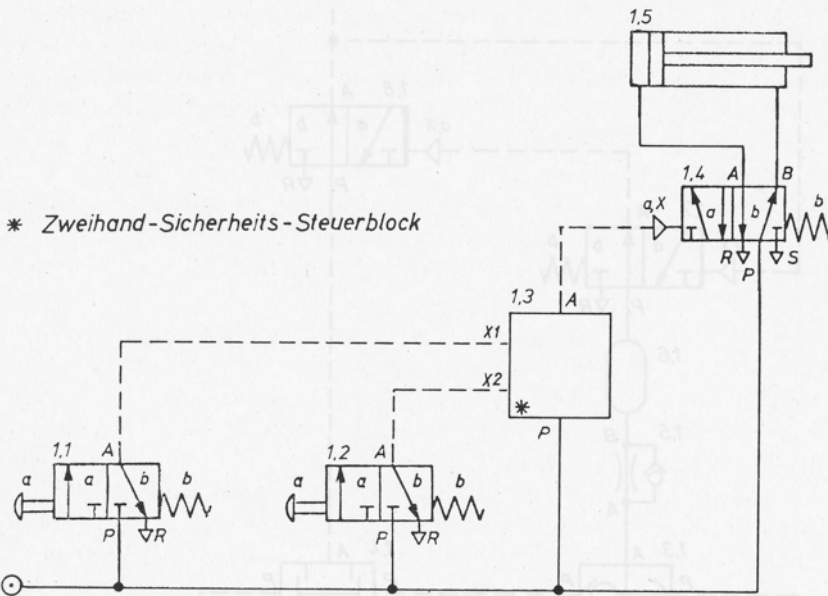


Bild 3.74 Steuerkette für doppeltwirkenden Zylinder mit Zweihand-Sicherheits-Auslösung

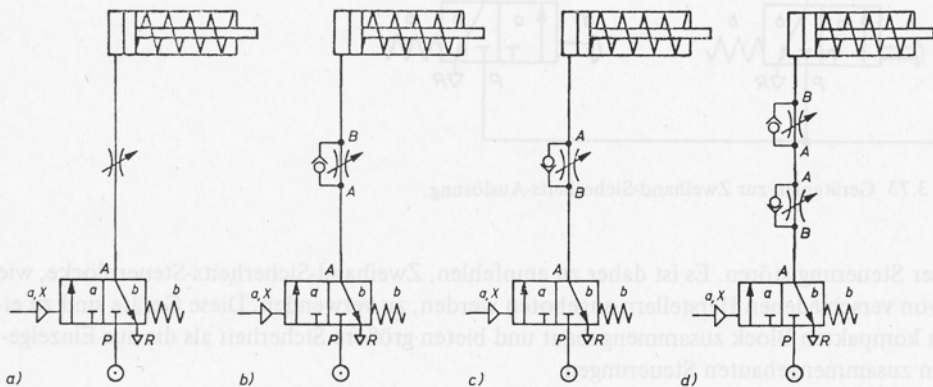


Bild 3.75 Regelung der Kolbenstangengeschwindigkeit bei einfachwirkenden Zylindern

a) Ein- und ausströmende Luft durch Drossel geregelt, b) Einströmende Luft durch Drosselrückschlagventil geregelt, c) Ausströmende Luft durch Drosselrückschlagventil geregelt, d) Aus- und einströmende Luft getrennt regelbar

In Bild 3.75 sind die Möglichkeiten der Geschwindigkeitsregulierung bei einfachwirkenden Zylindern dargestellt. Durch den Einbau einer Drossel in die Arbeitsluftleitung zwischen Zylinder und Stellglied (Bild 3.75a) wird die in den Zylinder einströmende und die aus dem Zylinder entweichende Luft gedrosselt, d.h. die Kolbenstangengeschwindigkeit wird in beiden Richtungen beeinflusst, kann aber für den Vorlauf und den Rücklauf der Kolbenstange nicht getrennt eingestellt werden.

Der Einbau eines Drosselrückschlagventiles (Bild 3.75b, c) beeinflusst die einströmende oder die ausströmende Luft, d.h. die Kolbenstangengeschwindigkeit kann, je nach Einbau des Drosselrückschlagventiles entweder beim Ausfahren oder beim Einfahren geregelt werden.

Soll an einem einfachwirkenden Zylinder die Kolbenstangengeschwindigkeit beim Einfahren und beim Ausfahren getrennt geregelt werden, so sind, wie in Bild 3.75d dargestellt, zwei Drosselrückschlagventile hintereinander anzuordnen.

Werden doppeltwirkende Zylinder durch ein 4/2-Wegeventil oder 5/2-Wegeventil gesteuert, so ist die Geschwindigkeitsregulierung nach Bild 3.76a vorzuziehen. Die Druckluft kann nach dem Umschalten des Stellgliedes ungehindert über das Rückschlagventil in den Zylinder einströmen und der Kolben wird mit dem vollen Druck beaufschlagt. Der aus dem Zylinder ausströmende Luft wird der Weg in die Atmosphäre durch das Rückschlagventil versperrt, sie kann nur entsprechend der Drosselöffnung entweichen. Dadurch ergeben sich gleichmäßige Kolbengeschwindigkeiten und über den ganzen Weg gleichmäßige Kräfte. Der Kolben ist immer zwischen dem Druck der einströmenden und dem Druck der ausströmenden Luft eingespannt.

Bei der Drosselung der einströmenden Luft nach Bild 3.76b kann nach dem Umschalten des Stellgliedes die Abluft ungehindert entweichen. Die in den Zylinder einströmende Luft entspannt sich nach der Drossel und hinter dem Kolben baut sich nur der Druck auf, der zur Überwindung der an der Kolbenstange wirkenden Kraft und zur Überwindung des Reibungswiderstandes notwendig ist.

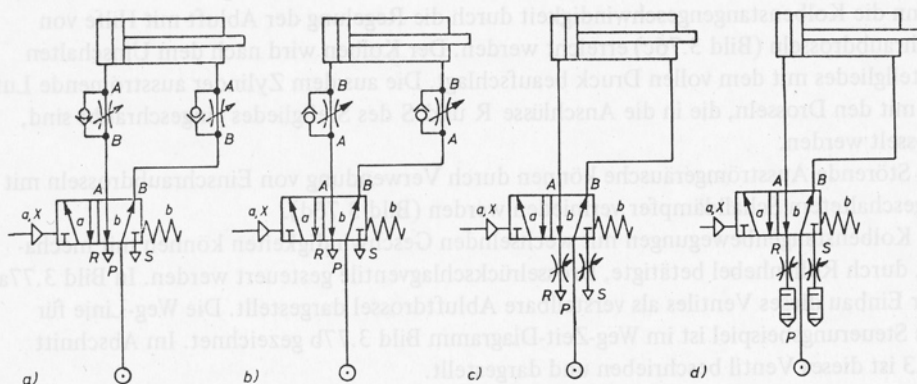


Bild 3.76 Regelung der Kolbenstangengeschwindigkeit bei doppeltwirkenden Zylindern

- a) Regelung der Abluft mit Drosselrückschlagventil, b) Regelung der Zuluft mit Drosselrückschlagventil (möglichst vermeiden), c) Regelung der Abluft mit Einschraubdrosseln, d) Regelung der Abluft mit Einschraubdrosseln mit nachgeschaltetem Schalldämpfer

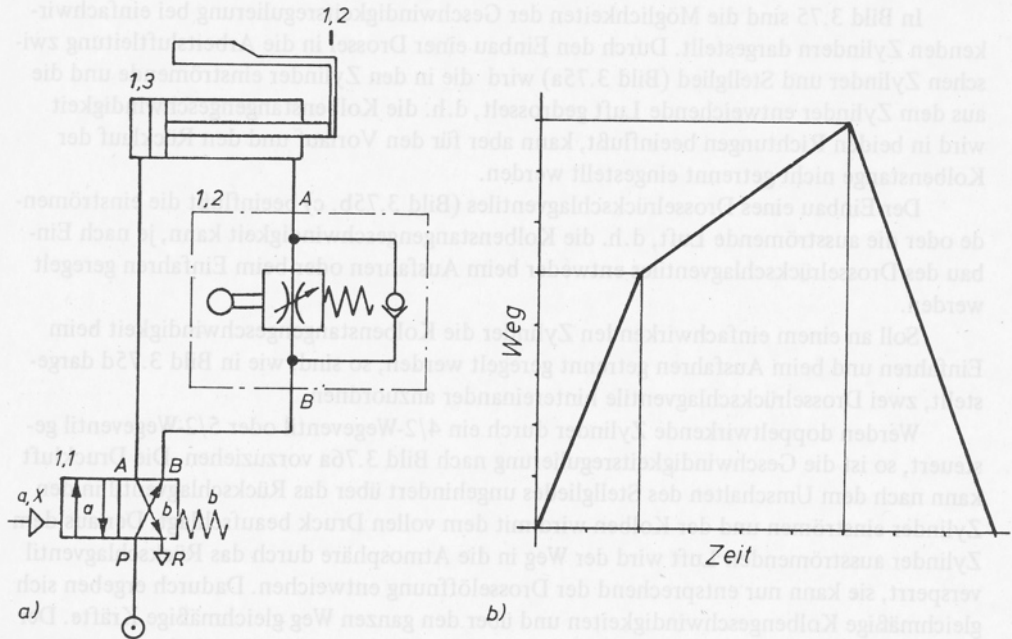


Bild 3.77 Kolbenstangenbewegung mit wechselnder Geschwindigkeit
a) Steuerkette, b) Zeit-Weg-Diagramm

Infolge der Kompressibilität der Luft werden im Raum zwischen Kolben und Drossel Druckschwankungen auftreten, die zu einer ruckenden Kolbenbewegung führen (Stick-Slip-Effekt).

Werden als Stellglieder vor doppeltwirkenden Zylindern 5/2-Wegeventile verwendet, so kann die Kolbenstangengeschwindigkeit durch die Regelung der Abluft mit Hilfe von Einschraubdrosseln (Bild 3.76c) erreicht werden. Der Kolben wird nach dem Umschalten des Stellgliedes mit dem vollen Druck beaufschlagt. Die aus dem Zylinder ausströmende Luft kann mit den Drosseln, die in die Anschlüsse R und S des Stellgliedes eingeschraubt sind, gedrosselt werden.

Störende Ausströmgeräusche können durch Verwendung von Einschraubdrosseln mit nachgeschaltetem Schalldämpfer vermieden werden (Bild 3.76d).

Kolbenstangenbewegungen mit wechselnden Geschwindigkeiten können mit mechanisch, durch Rollenhebel betätigte, Drosselrückschlagventile gesteuert werden. In Bild 3.77a ist der Einbau dieses Ventiles als verstellbare Abluftdrossel dargestellt. Die Weg-Linie für dieses Steuerungsbeispiel ist im Weg-Zeit-Diagramm Bild 3.77b gezeichnet. Im Abschnitt 2.8.4.3 ist dieses Ventil beschrieben und dargestellt.

Sollen entgegen den bisherigen Beispielen sehr rasche Kolbenstangenbewegungen ausgeführt werden, so ist wie in Bild 3.78 dargestellt, ein Schnellentlüftungsventil so nahe wie möglich am Zylinder zu montieren, damit die Abluft einen sehr kurzen Weg (= geringer Widerstand) in die Atmosphäre hat. Im Weg-Zeit-Diagramm Bild 3.78b ist die Weg-Linie

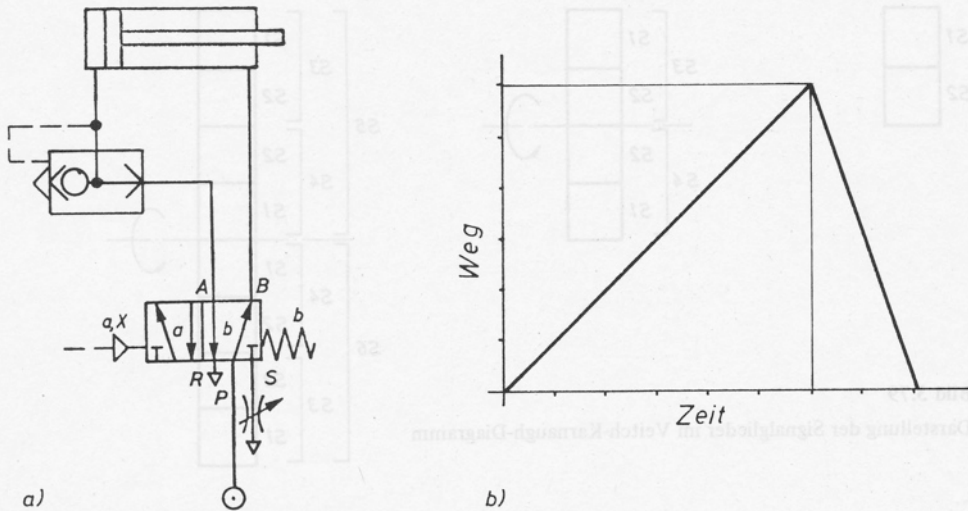


Bild 3.78 Rasche Kolbenstangenbewegung mit Schnellentlüftungsventil
a) Steuerkette, b) Zeit-Weg-Diagramm

für diese Steuerung dargestellt. Nach dem Umschalten des Stellgliedes schließt die Entlüftungsbohrung des Schnellentlüftungsventiles und die Kolbenfläche wird mit dem vollen Druck beaufschlagt. Die Abluft wird durch die Einschraubdrossel im Stellglied geregelt, d.h. die Kolbenstange fährt entsprechend der Drosseleinstellung langsamer oder schneller aus.

Nach dem Umschalten des Stellgliedes, zum Einfahren der Kolbenstange, wird die Kolbenringfläche mit dem vollen Druck beaufschlagt, gleichzeitig wird die Bodenseite des Zylinders entlüftet, wodurch die Entlüftungsbohrung im Schnellentlüftungsventil öffnet und der Abluft den Weg in die Atmosphäre freigibt. Die Kolbenstange wird infolge der schnellen Entlüftung der Bodenseite rasch eingefahren. Im Abschnitt 2.8.3.4 ist das Schnellentlüftungsventil beschrieben und dargestellt.

3.9 Verknüpfung mehrerer Steuerketten zu einem Arbeitsablauf

3.9.1 Allgemeines

Zur systematischen Lösung von Steuerungsaufgaben gibt es, wie bereits im Abschnitt 3.1 beschrieben, verschiedene Möglichkeiten. Die einzelnen Lösungstechniken sind in den folgenden Abschnitten erklärt, wobei für alle Beispiele dieses Abschnittes folgende Angaben gelten:

- Der Start erfolgt durch einen Impuls.
- Ein während des Arbeitsablaufes eingegebener Start-Impuls darf den Arbeitsablauf nicht beeinflussen.

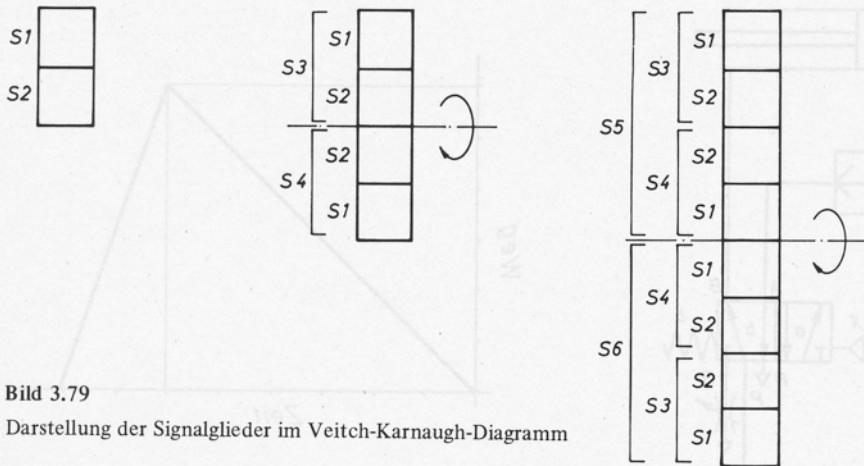


Bild 3.79

Darstellung der Signalglieder im Veitch-Karnaugh-Diagramm

- Der nächste Arbeitsablauf kann erst dann gestartet werden, wenn die letzte Bewegung des vorhergegangenen Arbeitsablaufes abgeschlossen ist.
- Hand-Automatikschaltung ist nicht vorgesehen.
- Gefahren-Abschaltung ist nicht berücksichtigt.

3.9.2 Aufbau der Steuerung mit Hilfe des Veitch-Karnaugh-Diagrammes

3.9.2.1 Erstellung des Veitch-Karnaugh-Diagrammes

Der Arbeitsablauf ist grundsätzlich in einem Weg-Schritt-Diagramm zu fixieren. Die Endlagen der Antriebsglieder sind durch Signalglieder zu kontrollieren, die fortlaufend mit $S_1, S_2, \dots, S_n$ zu bezeichnen sind.

Da Signalglieder, welche Endlagen eines Zylinders kontrollieren, nie gleichzeitig betätigt sein können, ist für die Auslegung von Ablaufsteuerungen (Wegplansteuerungen) ein Veitch-Karnaugh-Diagramm notwendig, das gegenüber dem in 3.6.1 erklärtem Diagramm derart abgeändert ist, daß der senkrechten Seite die Signalglieder und der waagerechten Seite die Verriegelungs-Speicher zugeordnet sind.

Zwei Signalglieder S_1, S_2 , (1 Antriebsglied) ergeben das in Bild 3.79 dargestellte Diagramm. Für vier Signalglieder S_1, S_2, S_3, S_4 (2 Antriebsglieder) sind die ersten zwei Felder bei $\text{---} \curvearrowright \text{---}$ zu spiegeln, wodurch sich vier Felder ergeben, denen die Signalglieder S_3 und S_4 so zuzuordnen sind, daß S_3 die ersten Felder und S_4 die gespiegelten Felder belegt. Für sechs Signalglieder S_1 bis S_6 (3 Antriebsglieder) ergeben sich acht Felder, die, wie im Bild 3.79 dargestellt, zu belegen sind.

Analog zu dieser Darstellung ergibt sich an der waagerechten Seite des Diagrammes die Darstellung der Verriegelungs-Speicher. Die Verriegelungs-Speicher werden fortlaufend mit $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ bezeichnet, wobei ein Feld dem gesetzten Speicher ($Y \dots$), das andere dem negierten Speicher ($\overline{Y} \dots$) zugeordnet wird. Für jeden hinzukommenden Speicher wird das ursprüngliche Feld um ein gleiches erweitert. Das ursprüngliche Feld wird zum Bereich, in dem der neu hinzugekommene Speicher den negierten Wert hat, das neue Feld wird zum

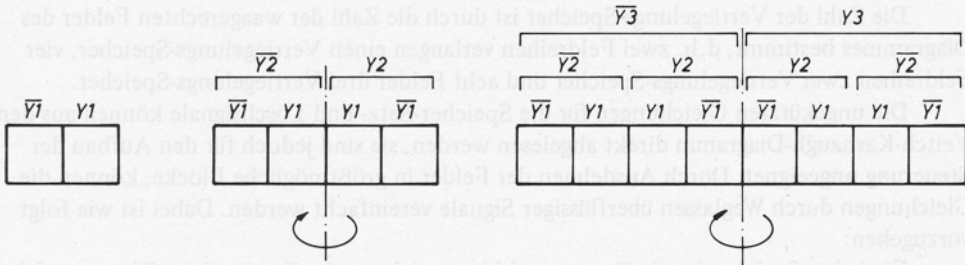


Bild 3.80 Darstellung der Verriegelungs-Speicher im Veitch-Karnaugh-Diagramm

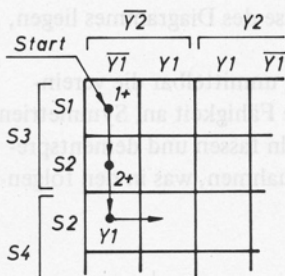


Bild 3.81

Darstellung des Arbeitsablaufes im Veitch-Karnaugh-Diagramm

Bereich, in dem der hinzukommende Speicher gesetzt ist (Bild 3.80). Da die Zahl der Verriegelungs-Speicher beim Beginn des Schaltungsentwurfes nicht bekannt ist, ist das Diagramm während des Aufbaues entsprechend obenstehender Erklärung zu erweitern. Das Diagramm besteht am Anfang aus einer senkrechten Reihe von Feldern, denen die Signalglieder entsprechend Bild 3.79 zugeordnet sind. In diese Felder ist der Arbeitsablauf derart einzutragen, daß jedes Feld nur einmal belegt wird, d.h. jede mögliche Signalkombination hat nur einen Schaltschritt auszuführen. Der vertikale Fortschritt im Diagramm ergibt eine neue Signalgliederkombination, der horizontale Fortschritt verlangt einen neuen Verriegelungs-Speicher. Der Fortschritt des Arbeitsablaufes ist durch Signallinien zu kennzeichnen, und in die Felder sind die von den Signalkombinationen einzuleitenden Funktionen derart einzutragen, daß der Zylinderbezeichnung ein + beigefügt wird, wenn die Kolbenstange ausfährt, und ein - beigefügt wird, wenn die Kolbenstange einfährt (1 +, 1 -, 2 +, 2 -, ...).

Ausgangspunkt des Arbeitsablaufes ist das erste Feld der ersten Reihe. Der Arbeitsablauf beginnt mit dem Startsignal. Das Start-Signalglied ist nicht im Feld des Veitch-Karnaugh-Diagrammes festgelegt und ist, wie in Bild 3.81 dargestellt, zu kennzeichnen. Der Arbeitsablauf ist möglichst symmetrisch in das Feld des Diagrammes einzutragen und soll wieder im Ausgangspunkt enden, da das die Voraussetzung für die Mindestzahl an Verriegelungs-Speichern ist.

Das fertiggestellte Veitch-Karnaugh-Diagramm gibt Aufschluß über die für den Aufbau der Steuerung notwendigen Speicher:

Jedem Antriebsglied ist als Stellglied ein Speicher zuzuordnen. Im Signalflußplan sind diese Speicher mit den Zylinderbezeichnungen und der Kolbenstangenlage zu kennzeichnen.

Die Zahl der Verriegelungs-Speicher ist durch die Zahl der waagerechten Felder des Diagrammes bestimmt, d.h. zwei Feldreihen verlangen einen Verriegelungs-Speicher, vier Feldreihen zwei Verriegelungs-Speicher und acht Felder drei Verriegelungs-Speicher.

Die ungekürzten Gleichungen für die Speicher-Setz- und Löschschnale können aus dem Veitch-Karnaugh-Diagramm direkt abgelesen werden, sie sind jedoch für den Aufbau der Steuerung ungeeignet. Durch Ausdehnen der Felder in größtmögliche Blöcke, können die Gleichungen durch Weglassen überflüssiger Signale vereinfacht werden. Dabei ist wie folgt vorzugehen:

Für jeden Speicher ist ein Diagrammfeld zu zeichnen. In die einzelnen Diagrammfelder sind die Funktionen eines Speichers einzutragen und zu möglichst großen Blöcken auszudehnen, wobei in einem Block nur eine Funktion aufscheinen darf, z.B. in jedem Block nur $1 +$ oder nur $1 -$. Nicht belegte Felder dürfen beliebig oft mit einbezogen werden. Die gebildeten Blöcke müssen symmetrisch zu einer Spiegelungs-Achse des Diagrammes liegen, und die Anzahl der Felder muß eine 2er-Potenz sein.

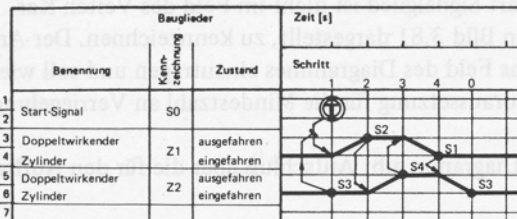
Aus den gebildeten Blöcken kann man nach einiger Übung unmittelbar die vereinfachte Gleichung ablesen. Dabei kommt es in erster Linie auf die Fähigkeit an, Symmetrien zu erkennen. Leider läßt sich dieser Vorgang nur schwer in Regeln fassen und dementsprechend schlecht beschreiben. Man sollte versuchen intuitiv nachzuahmen, was in den folgenden Beispielen dieses Abschnittes dargestellt ist.

3.9.2.2 Beispiele

Der Lösungsweg für die Beispiele 3.1 bis 3.5 ist gleich. Der Arbeitsablauf ist im Weg-Schritt-Diagramm festgelegt und als Bewegungsfolge derart aufgeschrieben, daß der Zylinderbezeichnung ein $+$ beigefügt ist, wenn die Kolbenstange ausfährt und ein $-$ beigefügt ist, wenn die Kolbenstange einfährt.

Der Aufbau des Veitch-Karnaugh-Diagrammes und das Eintragen des Arbeitsablaufes erfolgt, wie in 3.9.2.1 beschrieben. Aus den für die einzelnen Speicher erstellten Diagrammfelder sind die Gleichungen nach der Bildung möglichst großer, symmetrisch um eine Spiegelungs-Achse angeordneter Blöcke abzulesen. Mit Hilfe dieser Gleichungen ist der Signalflußplan aufzubauen, aus dem der Geräteplan erstellt werden kann. Der Aufbau der Steuerung im Geräteplan erfolgt durch Wegeventile. So weit es möglich war, sind die UND-Funktionen durch hintereinander geschaltete Geräte dargestellt.

Beispiel 3.1 Zwei doppeltwirkende Zylinder sollen den in Bild 3.82 dargestellten Arbeitsablauf ausführen.



Bewegungsfolge $Z1+, Z2+, Z1-, Z2-$.

Bild 3.82

Weg-Schritt-Diagramm und Bewegungsfolge zu Beispiel 3.1

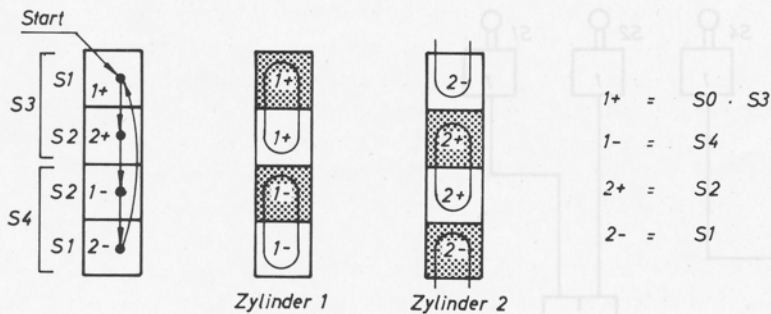


Bild 3.83 Veitch-Karnaugh-Diagramm und Gleichungen zu Beispiel 3.1

Das für diesen Arbeitsablauf entwickelte Veitch-Karnaugh-Diagramm ist in Bild 3.83 dargestellt. Der Arbeitsablauf wird im obersten Feld, bei der Signalkombination $S0.S1.S3$ mit der ersten Kolbenstangenbewegung $1 +$ beginnend, in das Diagrammfeld eingetragen. Ist die Kolbenstange des Zylinders 1 ausgefahren, wird durch die Signalkombination $S2.S3$ der Befehl zum Ausfahren der Kolbenstange des Zylinders 2 gegeben ($2 +$). Die ausgefahrene Kolbenstange des Zylinders 2 bewirkt die Signalkombination $S2.S4$, wodurch das Einfahren der Kolbenstange des Zylinders 1 ($1 -$) bewirkt wird. Die Signalkombination $S1.S4$ bewirkt das Einfahren der Kolbenstange des Zylinders 2 ($2 -$), wodurch die Ausgangs-Signalkombination $S1.S3$ erreicht wird. Durch ein Signal $S0$ wird ein neuer Arbeitsablauf ausgelöst.

Da der Arbeitsablauf in *eine* senkrechte Feldreihe eingetragen werden kann, ist kein Verriegelungs-Speicher notwendig. Für jeden Speicher (Stellglied) ist nun ein Diagrammfeld zu zeichnen, in das der Zustand eines Speichers, dem Arbeitsablauf entsprechend, eingetragen wird. In den einzelnen Diagrammfeldern sind möglichst große, symmetrisch um eine Spiegelungsachse liegende Blöcke mit gleicher Wertigkeit ($1 +$ und $1 -$; $2 +$ und $2 -$) zu bilden, aus denen die in Bild 3.83 angegebenen Gleichungen abgelesen werden können. Der größtmögliche Block für $1 +$ ist der Signalbereich $S3$. Das Startsignal für den Arbeitsablauf ist $S0$. Die Signalkombination, die den Speicher $1 +$ setzt, ist daher mit der Gleichung $1 + = S0.S3$ definiert. Der größtmögliche Block für $1 -$ wird mit $S4$ definiert, für das Einfahren der Kolbenstange des Zylinders 1 ergibt sich die Gleichung $1 - = S4$. Das für die Auslösung des jeweiligen Speicherzustandes verantwortliche Feld ist durch $\otimes\otimes\otimes$ besonders gekennzeichnet. Analog sind die Blöcke und die Gleichungen für $2 + = S2$ und $2 - = S1$ zu bilden. Da die Randfelder eines Veitch-Karnaugh-Diagrammes an einer Spiegelungsachse liegen, können sie, wie in Bild 3.83 für $2 -$ dargestellt, zu einem Block zusammengefaßt werden. Mit Hilfe dieser Gleichungen kann der in Bild 3.84 dargestellte Signalflußplan gezeichnet werden, nach dem die Steuerung in jeder gewünschten Geräteart aufgebaut werden kann. In Bild 3.85 ist die Steuerung dieses Beispiels mit Wegeventilen realisiert.

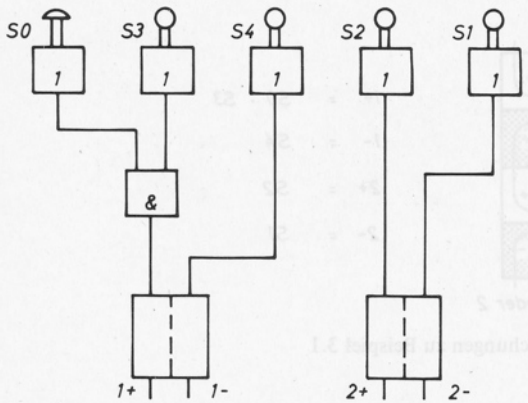


Bild 3.84
Signalflußplan zu Beispiel 3.1

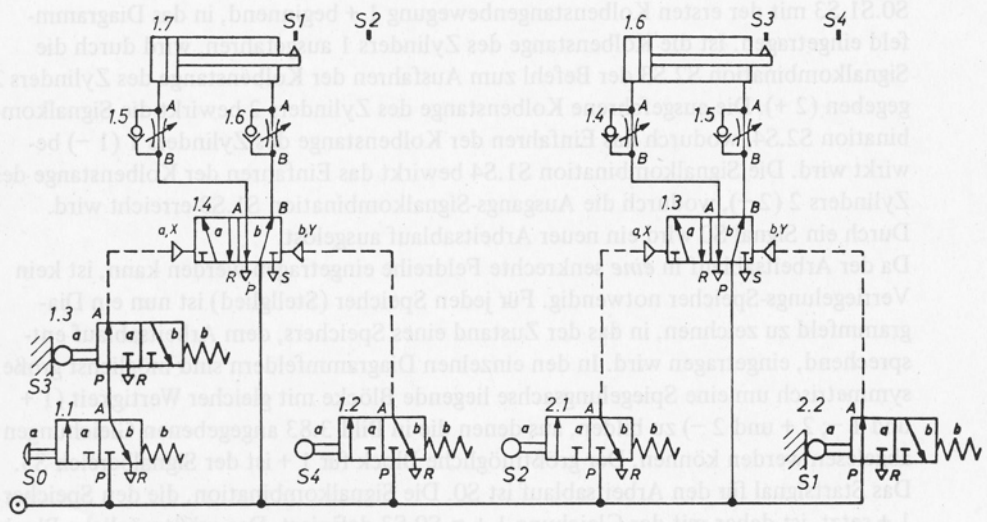


Bild 3.85 Geräteplan zu Beispiel 3.1

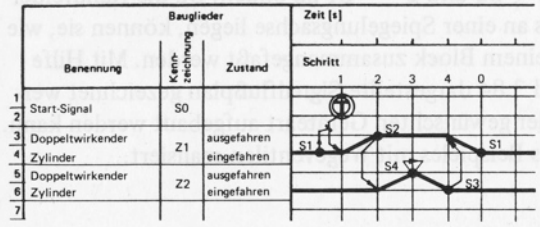


Bild 3.86
Weg-Schritt-Diagramm und
Bewegungsfolge zu Beispiel 3.2

Bewegungsfolge Z1+, Z2+, Z2-, Z1-,

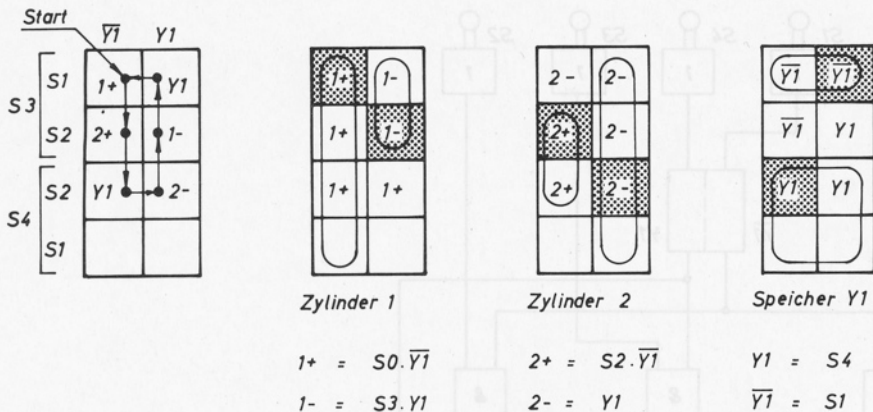


Bild 3.87 Veitch-Karnaugh-Diagramm und Gleichungen zu Beispiel 3.2

Beispiel 3.2 Zwei doppeltwirkende Zylinder sollen den in Bild 3.86 dargestellten Arbeitsablauf ausführen.

In das Veitch-Karnaugh-Diagramm Bild 3.87 ist der Arbeitsablauf im oberen, linken Feld, bei der Signalkombination $S_0.S_1.S_3.\overline{Y_1}$ mit der Kolbenstangenbewegung 1 + beginnend, eingetragen. Ist die Kolbenstange des Zylinders 1 ausgefahren, wird durch die Signalkombination $S_2.S_3.\overline{Y_1}$ der Befehl zum Ausfahren der Kolbenstange des Zylinders 2 (2 +) gegeben. Die ausgefahrene Kolbenstange des Zylinders 2 bewirkt die Signalkombination $S_2.S_4.\overline{Y_1}$, wodurch entsprechend der Bewegungsfolge die Kolbenstange des Zylinders 2 eingefahren werden soll. Die eingefahrene Kolbenstange des Zylinders 2 bewirkt die Signalkombination $S_2.S_3.\overline{Y_1}$. Da dieses Feld bereits vorher mit der Funktion 2 + belegt wurde, und die Belegung eines Feldes mit zwei Funktionen nicht möglich ist, muß durch die Signalkombination $S_2.S_4.\overline{Y_1}$ der Verriegelungs-Speicher Y_1 gesetzt werden ($\overline{Y_1}$ wird gleichzeitig gelöscht, und die Eintragung des Arbeitsablaufes erfolgt für die nächsten Schritte in der Spalte Y_1). Die letzte Kolbenstangenbewegung des Arbeitsablaufes bewirkt, wenn sie ausgeführt ist, die Signalkombination $S_1.S_3.Y_1$. Um die Steuerung wieder in Startbereitschaft zu bringen, ist durch diese Signalkombination der Speicher Y_1 zu löschen und $\overline{Y_1}$ zu setzen.

Für jeden Speicher (Stellglied für Zylinder 1, Stellglied für Zylinder 2 und Verriegelungs-Speicher Y1) ist ein Diagrammfeld zu zeichnen, in das der Zustand eines Speichers eingetragen wird. Es sind möglichst große, zu den Spiegelungsachsen symmetrische Blöcke zu bilden, wobei leere, durch den Arbeitsablauf nicht belegte Felder beliebig oft in die Blöcke einbezogen werden dürfen. Das für die Auslösung des jeweiligen Speicherzustandes verantwortliche Feld ist durch $\times\times\times\times\times$ gekennzeichnet.

Aus den, in den einzelnen Diagrammfeldern gebildeten Blöcken, können die in Bild 3.87 angegebenen Gleichungen für die Speicher-Setz- und -Lösch-Signale abgelesen werden. Mit Hilfe dieser Gleichungen kann der Signalflußplan nach Bild 3.88 und daraus der Geräteplan nach Bild 3.89 entwickelt werden.

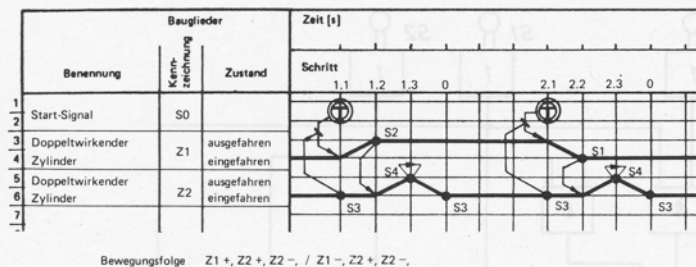


Bild 3.90 Weg-Schritt-Diagramm und Bewegungsfolge zu Beispiel 3.3

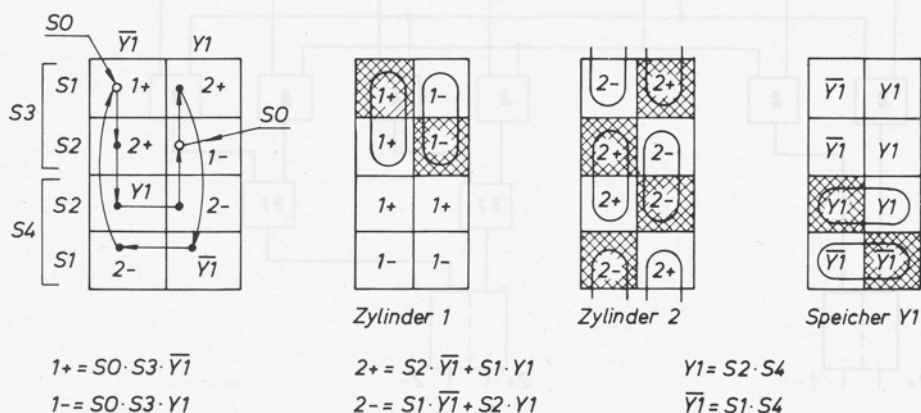


Bild 3.91 Veitch-Karnaugh-Diagramm und Gleichungen zu Beispiel 3.3

Beispiel 3.3 Zwei doppeltwirkende Zylinder sollen den in Bild 3.90 dargestellten Arbeitsablauf ausführen; d.h. je nach Kolbenstangenlage des Zylinders 1 soll nach dem Startsignal die Kolbenstange aus- oder einfahren. Die Kolbenstange des Zylinders 2 fährt nach jeder Kolbenstangenbewegung des Zylinders 1 einmal aus und ein. Als Start-Ventil ist für beide Arbeitsabläufe ein Signalglied S0 vorzusehen. In das Veitch-Karnaugh-Diagramm (Bild 3.91) wird der Arbeitsablauf, wie in den beiden vorangegangenen Beispielen erklärt, eingetragen. Der erste Arbeitsablauf beginnt mit der Signalkombination S0.S1.S3.Y1-bar, der zweite mit der Signalkombination S0.S2.S3.Y1. Der Aufbau der Diagramme für die einzelnen Speicher und die Bildung der Blöcke, sowie die Erstellung der Gleichungen ist wie in den vorher beschriebenen Beispielen vorzunehmen. Da die Kolbenstange des Zylinders 2, bei dem im Diagrammfeld dargestellten Arbeitsablauf, zweimal aus- und einfährt, sind für 2 + und 2 - je zwei getrennte Blöcke zu bilden, die in den Gleichungen für 2 + und 2 - durch die ODER-Verknüpfung dargestellt werden.

Signalflußplan und Geräteplan sind in den Bildern 3.92 und 3.93 dargestellt.

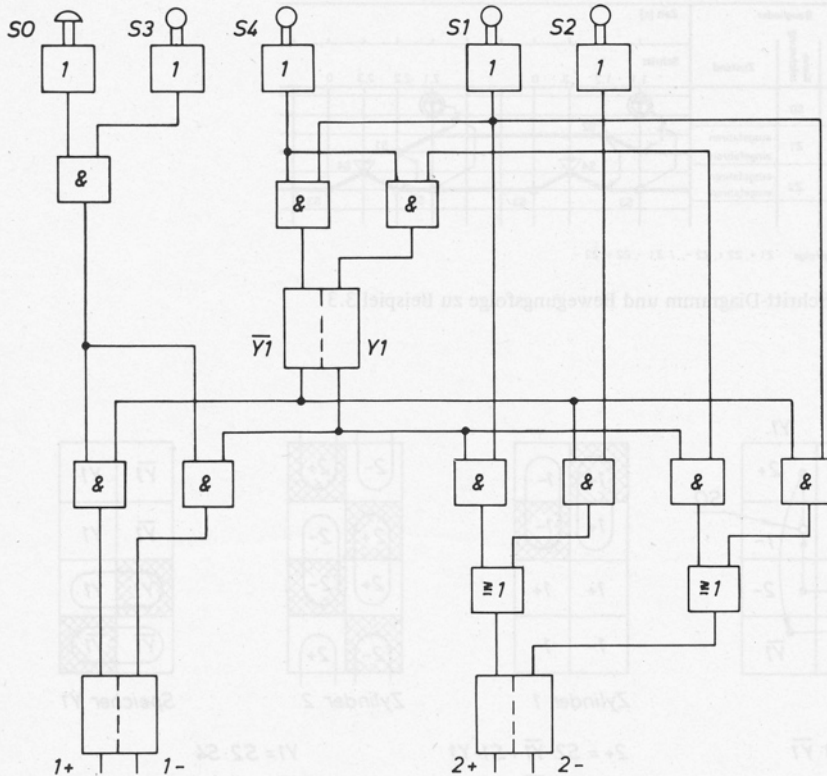


Bild 3.92 Signalflußplan zu Beispiel 3.3

Beispiel 3.4 Drei doppeltwirkende Zylinder sollen den in Bild 3.94 dargestellten Arbeitsablauf ausführen.

Der Aufbau des Veitch-Karnaugh-Diagrammes (Bild 3.95) und das Finden der Gleichungen kann entsprechend der vorangegangenen Beispiele erfolgen. Im Diagrammfeld für den Speicher Y1 ergibt sich bei der Blockbildung eine Überschneidung im Bereich der Signalkombination S4.S6, da Felder, die vom Arbeitsablauf nicht belegt sind, beliebig in Blöcke einbezogen werden können. Für das Einfahren der Kolbenstange des Zylinders 3 ergibt sich aus dem im Diagrammfeld gebildeten Block die Gleichung $3- = \bar{Y}1$. Der Speicher $\bar{Y}1$ wird entsprechend dem im Diagrammfeld Y1 gebildeten Block durch das Signal S6 gesetzt. Da jedoch im Weg-Schritt-Diagramm (Bild 3.94) festgelegt ist, daß die Kolbenstange des Zylinders 3 nur nach der Signalverbindung S1.S6 einfahren darf, ist entgegen der aus dem Veitch-Karnaugh-Diagramm abgelesenen Gleichung $\bar{Y}1 = S6$ die Gleichung $\bar{Y}1 = S1.S6$ zu setzen.

Signalflußplan und Geräteplan sind in den Bildern 3.96 und 3.97 dargestellt. Bild 3.98 zeigt den Funktionsplan zu diesem Beispiel.

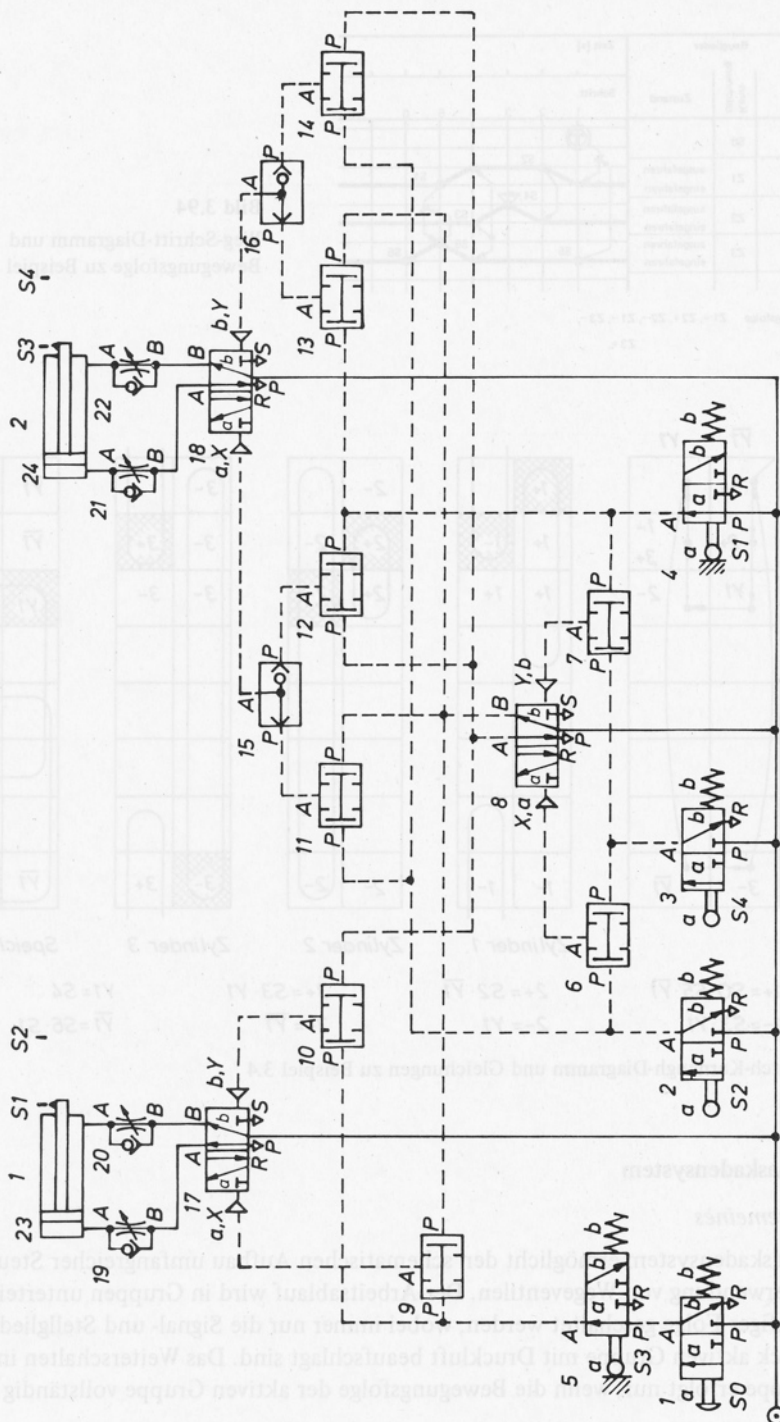
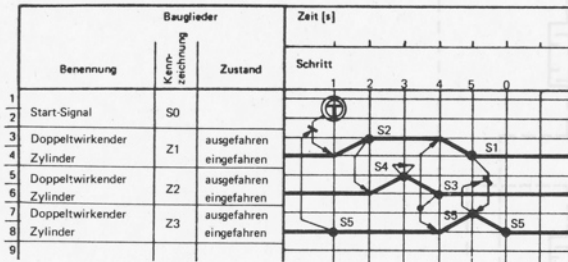


Bild 3.9.3 Geräteplan zu Beispiel 3.3



Bewegungsfolge Z1+, Z2+, Z2-, Z1-, Z3-,

Z3+,

Bild 3.94

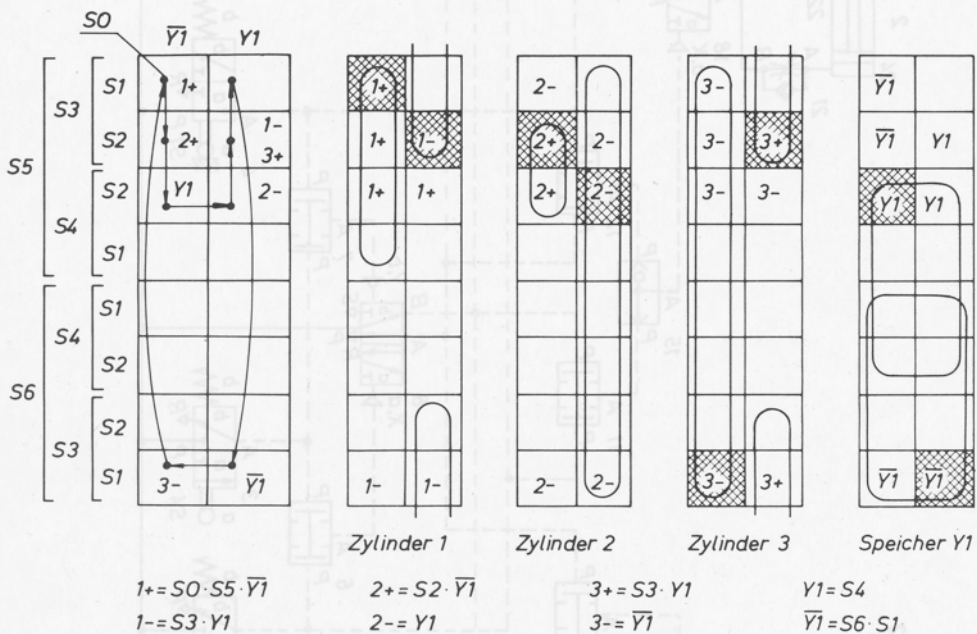
Weg-Schritt-Diagramm und
Bewegungsfolge zu Beispiel 3.4

Bild 3.95 Veitch-Karnaugh-Diagramm und Gleichungen zu Beispiel 3.4

3.9.3 Das Kaskadensystem

3.9.3.1 Allgemeines

Das Kaskadensystem ermöglicht den schematischen Aufbau umfangreicher Steuerungen unter Verwendung von Wegeventilen. Der Arbeitsablauf wird in Gruppen unterteilt, die in zwangsläufiger Folge geschaltet werden, wobei immer nur die Signal- und Stellglieder der im Augenblick aktiven Gruppe mit Druckluft beaufschlagt sind. Das Weiterschalten in die nächste Gruppe erfolgt nur, wenn die Bewegungsfolge der aktiven Gruppe vollständig ausgeführt ist.

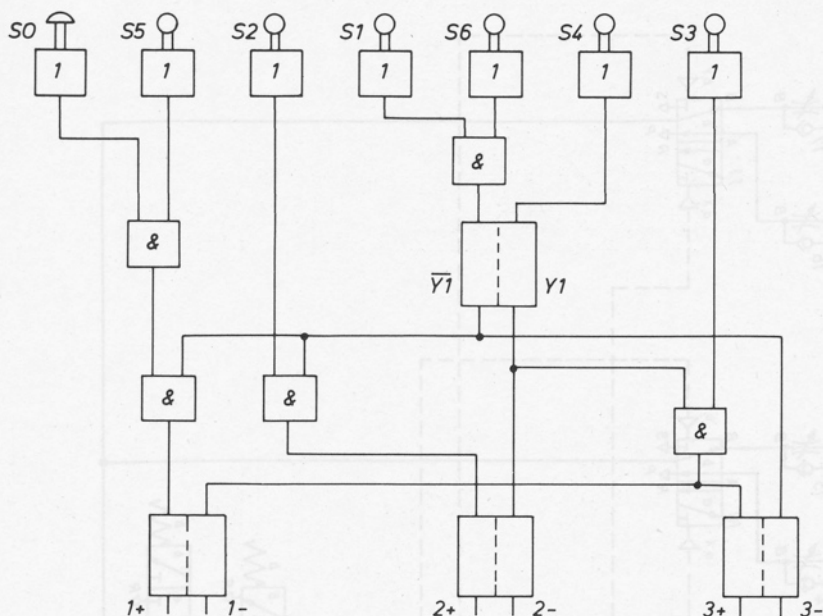


Bild 3.96 Signalflußplan zu Beispiel 3.4

3.9.3.2 Einteilung des Arbeitsablaufes in Gruppen

Um den im Weg-Schritt-Diagramm (Bild 3.99) dargestellten Arbeitsablauf in Gruppen einteilen zu können, ist die Bewegungsfolge der Kolbenstangen in einer Zeile derart aufzuschreiben, daß der Zylinderbezeichnung ein + beigefügt wird, wenn die Kolbenstange ausfährt, und ein - beigefügt wird, wenn die Kolbenstange einfährt. Erfolgen die Bewegungen mehrerer Kolbenstangen gleichzeitig, werden die Zylinderbezeichnungen untereinander geschrieben (Bild 3.100). Die Bewegungsfolge der Kolbenstangen ist so in Gruppen einzuteilen, daß jeder Zylinder unabhängig vom beigefügten Zeichen, in jeder Gruppe nur einmal vorkommt; d.h. die Kolbenstange eines Zylinders darf in einer Gruppe nur eine Bewegung ausführen. Es sind so wenig Gruppen wie möglich zu bilden. Die Gruppen sind mit römischen Zahlen zu bezeichnen (Bild 3.101).

Sind die erste und die letzte Gruppe vollkommen verschieden, d.h. in der ersten Gruppe ist keine Zylinderbezeichnung, die auch in der letzten Gruppe vorkommt, dann können diese zwei Gruppen zu einer Gruppe zusammengefaßt werden.

3.9.3.3 Aufbau der Steuerung

• Antriebsglieder – Stellglieder – Arbeitsluftleitungen

Die Sinnbilder der Zylinder werden in der Reihenfolge ihrer Bezeichnungen Z1 ... Z5 und mit der Kolbenstangenstellung gezeichnet, die der Ausgangsstellung entspricht. Jedem Zylinder wird als Stellglied ein druckluftbetätigtes 5/2-Wegeventil zugeordnet. Die Anschlüsse P der Stellglieder werden von einer gemeinsamen Druckluftleitung gespeist. Je nach Kolben-

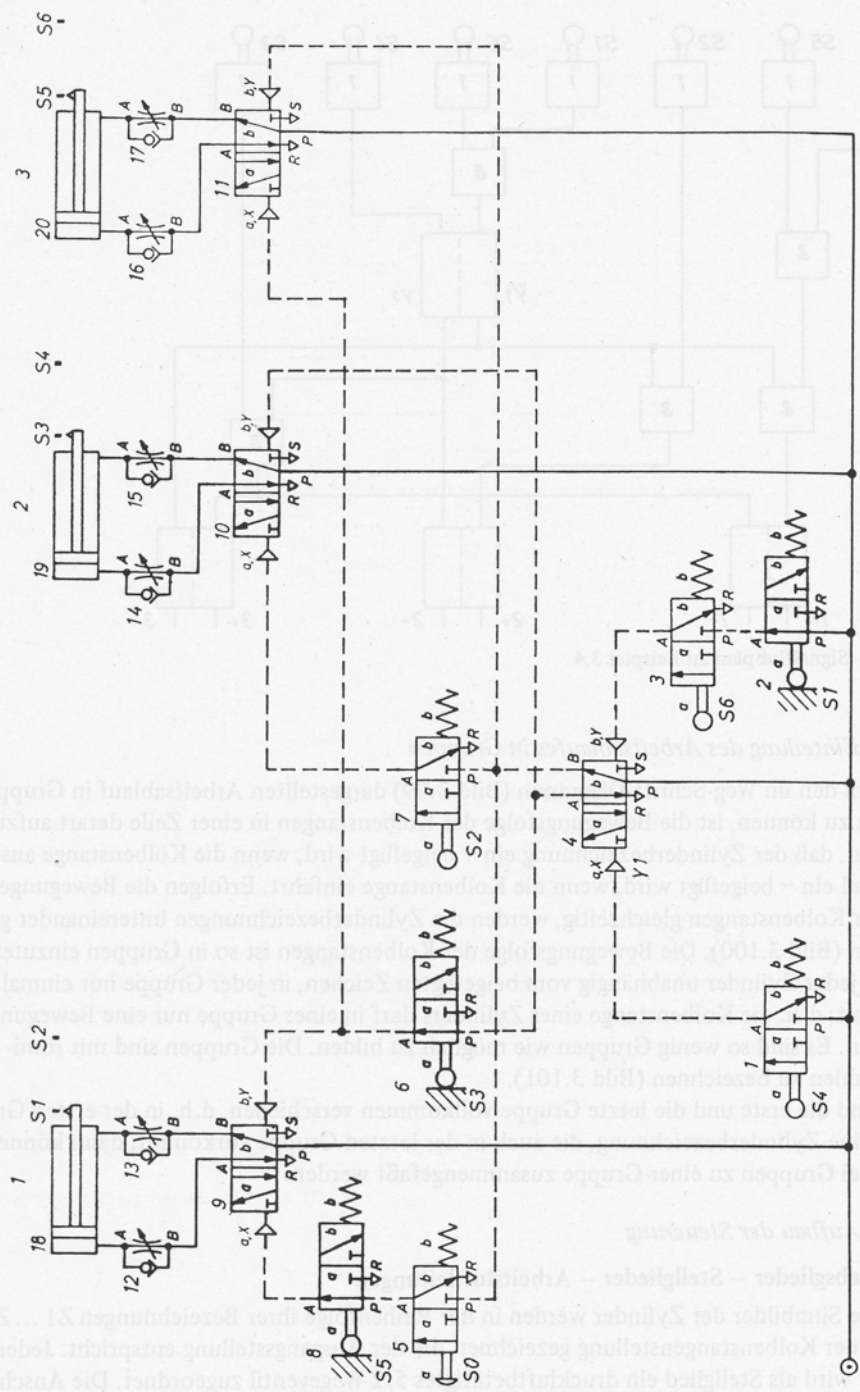


Bild 3.97 Geräteplan zu Beispiel 3.4

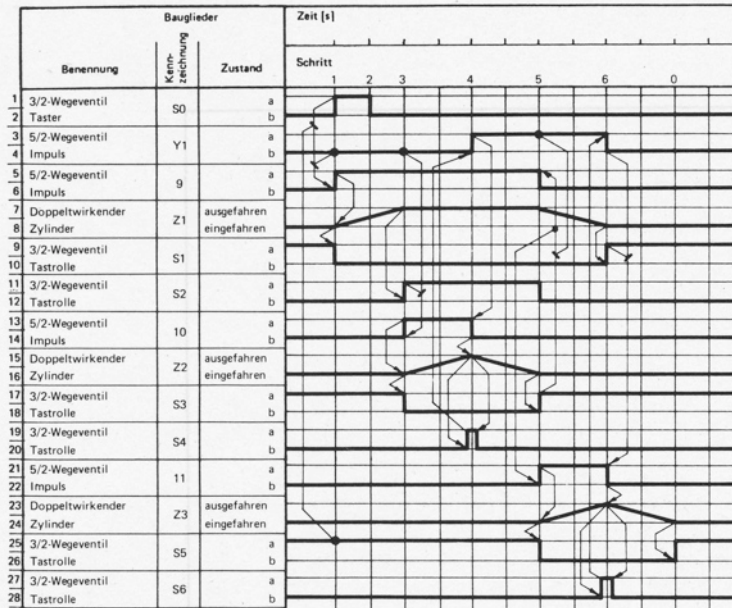


Bild 3.98 Funktionsplan zu Beispiel 3.4

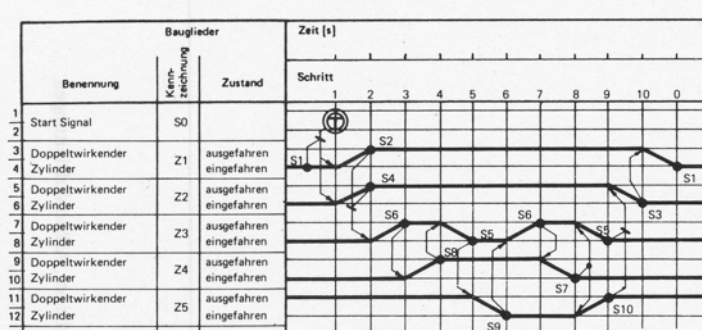


Bild 3.99 Weg-Schritt-Diagramm zum Kaskadensystem

$Z1+ \quad Z3+ \quad Z4+ \quad Z3- \quad Z5- \quad Z3+ \quad Z4- \quad Z3- \quad Z2- \quad Z1-$
 $Z2+$

Bild 3.100

Aufschreiben der Bewegungsfolge

$Z1+ \quad Z3+ \quad Z4+$	$Z3- \quad Z5-$	$Z3+ \quad Z4-$	$Z3- \quad Z2- \quad Z1-$
$Z2+$			$Z5+$
I	II	III	IV

Bild 3.101

Einteilung des Arbeitsablaufes in Gruppen



Bild 3.102 Antriebsglieder, Stellglieder, Arbeitsluftleitungen

stangenstellung sind die Anschlüsse A und B der Stellglieder mit den Boden- oder Dekkelanschlüssen der Zylinder zu verbinden. Wenn die Kolbenstangengeschwindigkeit geregelt werden soll, sind Drosselrückschlagventile oder Einschraubdrosseln einzusetzen (Bild 3.102).

● Sammelleitungen – Gruppenvorwahlventile

Wie in Bild 3.103 dargestellt, sind die Sammelleitungen unter der Arbeitsluftleitung zu zeichnen. Ihre Anzahl hat der Zahl der Gruppen des Bewegungsablaufes zu entsprechen, und sie sind mit denselben Zahlen wie die Gruppen des Bewegungsablaufes von unten nach oben zu bezeichnen.

Die Sinnbilder der Gruppenvorwahlventile, druckluftbetätigte 5/2-Wegeventile, sind unter den Sammelleitungen zu zeichnen und mit einer laufenden Nummer und der nächsten freien Ordnungszahl der Steuerketten zu versehen. Es wird immer ein Gruppenvorwahlventil weniger benötigt, als Sammelleitungen vorhanden sind. Für die Darstellung der Gruppenvorwahlventile gilt folgende Regel: Gruppenvorwahlventile für die Belüftung der Sammelleitungen I und II werden in Schaltstellung b gezeichnet. Gruppenvorwahlventile für die Belüftung der Sammelleitungen III bis n werden in Schaltstellung a gezeichnet.

Entsprechend dieser Regel ist in dem vorliegenden Beispiel das Gruppenvorwahlventil Gerät 6.3 in Schaltstellung a zu zeichnen, und die Anschlüsse A und B sind mit den Sammelleitungen III und IV zu verbinden. Das Gruppenvorwahlventil Gerät 6.2 ist in Schaltstellung b zu zeichnen, der Anschluß A ist mit dem Anschluß P des Gerätes 6.3 zu verbinden, und der Anschluß B ist mit der Sammelleitung II und dem Anschluß Y des Gerätes 6.3 zu verbinden. Das Gruppenvorwahlventil 6.1 ist in Schaltstellung b zu zeichnen, der Anschluß A ist mit dem Anschluß P des Gerätes 6.2 zu verbinden, und der Anschluß B ist mit der Sammelleitung I und dem Anschluß Y des Gerätes 6.2 zu verbinden. In der Ausgangsstellung ist die Sammelleitung I belüftet.

● Signalglieder der Steuerketten und Gruppenvorwahlventile

Entsprechend dem Arbeitsablauf in Gruppe I werden die Steuerleitungen und Signalglieder von der Sammelleitung I zu den Stellgliedern gezeichnet (Bild 3.104).

Der Arbeitsablauf wird durch das Startsignal S0 eingeleitet. Da die Kolbenstangen der Zylinder 1 und 2 im Schritt 1 gemeinsam ausfahren, sind die Anschlüsse X der Stellglieder der Steuerketten 1 und 2 aus der Sammelleitung I über das Start-Signalglied S0, Gerät 1.1, zu belüften. Die Kolbenstange des Zylinders 3 darf nur dann ausfahren, wenn die Kolbenstangen der Zylinder 1 und 2 in ihrer vordersten Endlage sind. Die Signalglieder S2, Gerät 2.1 und S4, Gerät 2.2, sind daher hintereinander zu schalten und geben, wenn beide betätigt sind, der Druckluft den Weg zum Anschluß X des Stellgliedes der Steuerkette 3 frei. Ist die Kolbenstange des Zylinders 3 ausgefahren, wird das Signalglied S6, Gerät 4.1, betätigt, und das Stellglied der Steuerkette 4 wird in Schaltstellung b gebracht. Die Kolbenstange des Zylinders 4 fährt aus. Damit ist der Bewegungsablauf der ersten Gruppe abgeschlossen. Die Kolbenstange des Zylinders 4 betätigt in ausgefahrener Stellung das Signalglied S8, Gerät 6.4, der Anschluß X des Gruppenvorwahlventiles Gerät 6.1 wird belüftet, und das Ventil wird in Schaltstellung a gebracht. Die Sammelleitung I wird über den Anschluß R des Gerätes 6.1 entlüftet, die Sammelleitung II wird über die Geräte 6.1 und 6.2 mit Druckluft versorgt, und das Gruppenvorwahlventil Gerät 6.3 wird in Schaltstellung b gebracht.

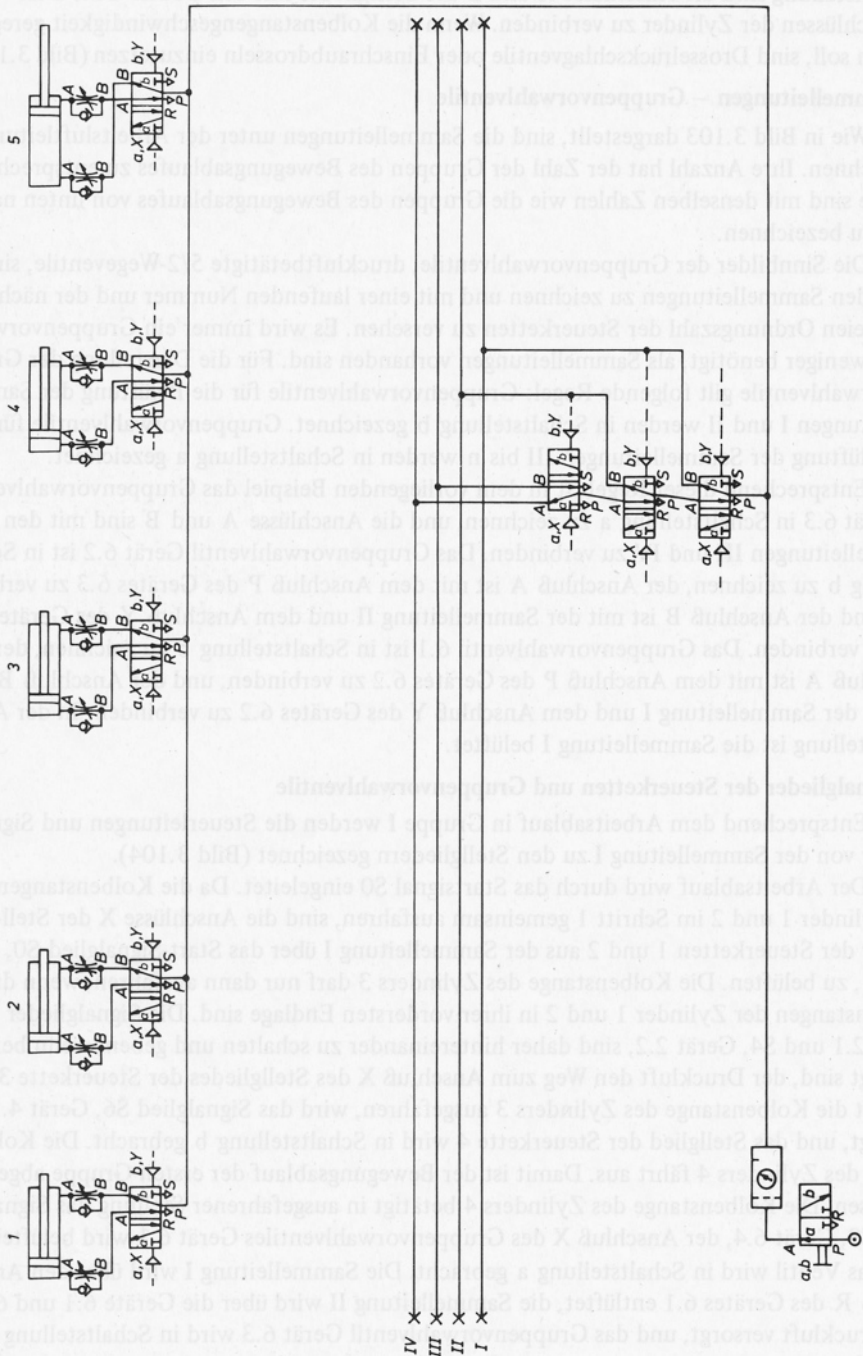


Bild 3.103 Sammelleitungen und Gruppenvorwählventile

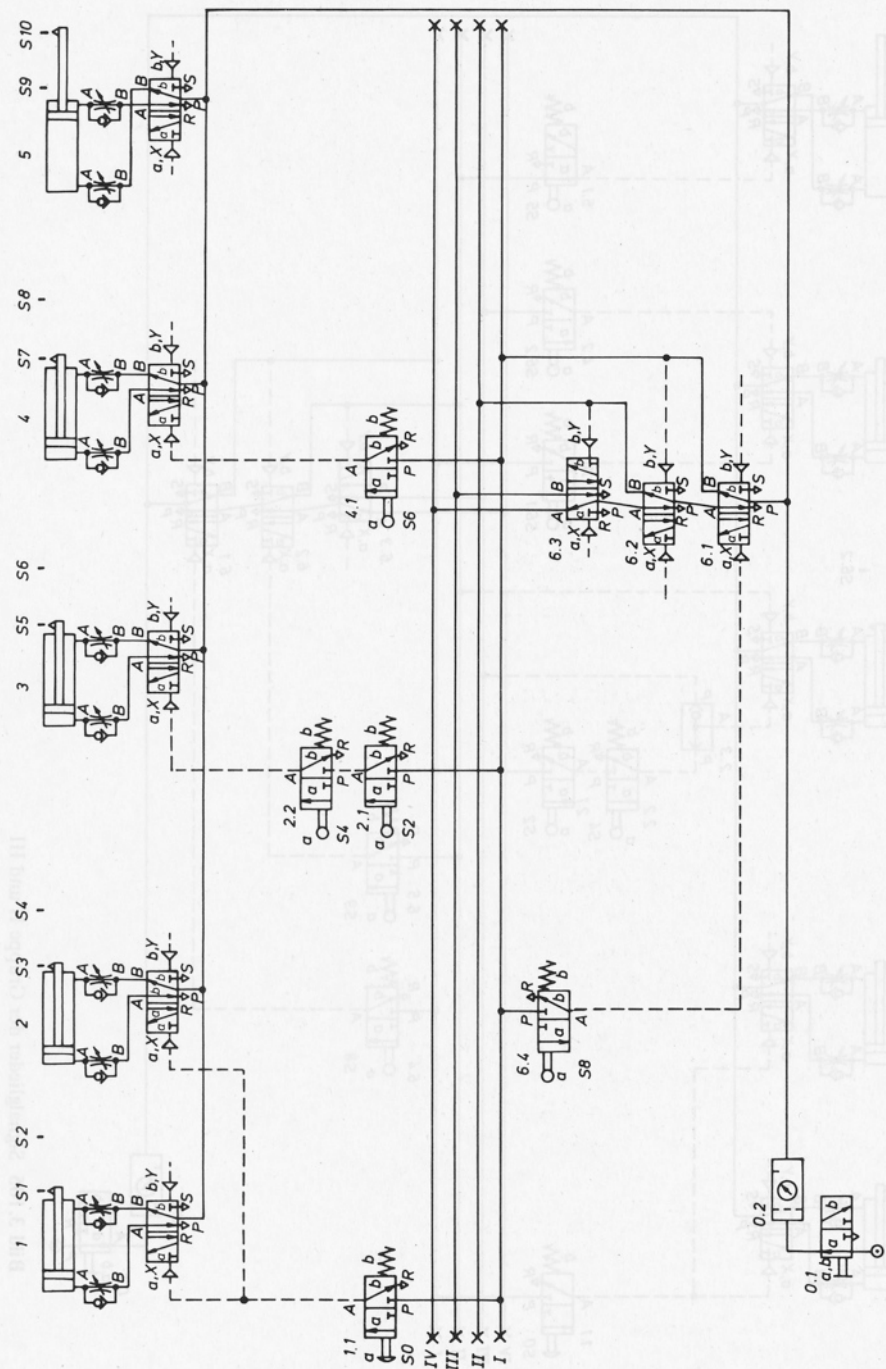


Bild 3.104 Signalglieder der Gruppe I

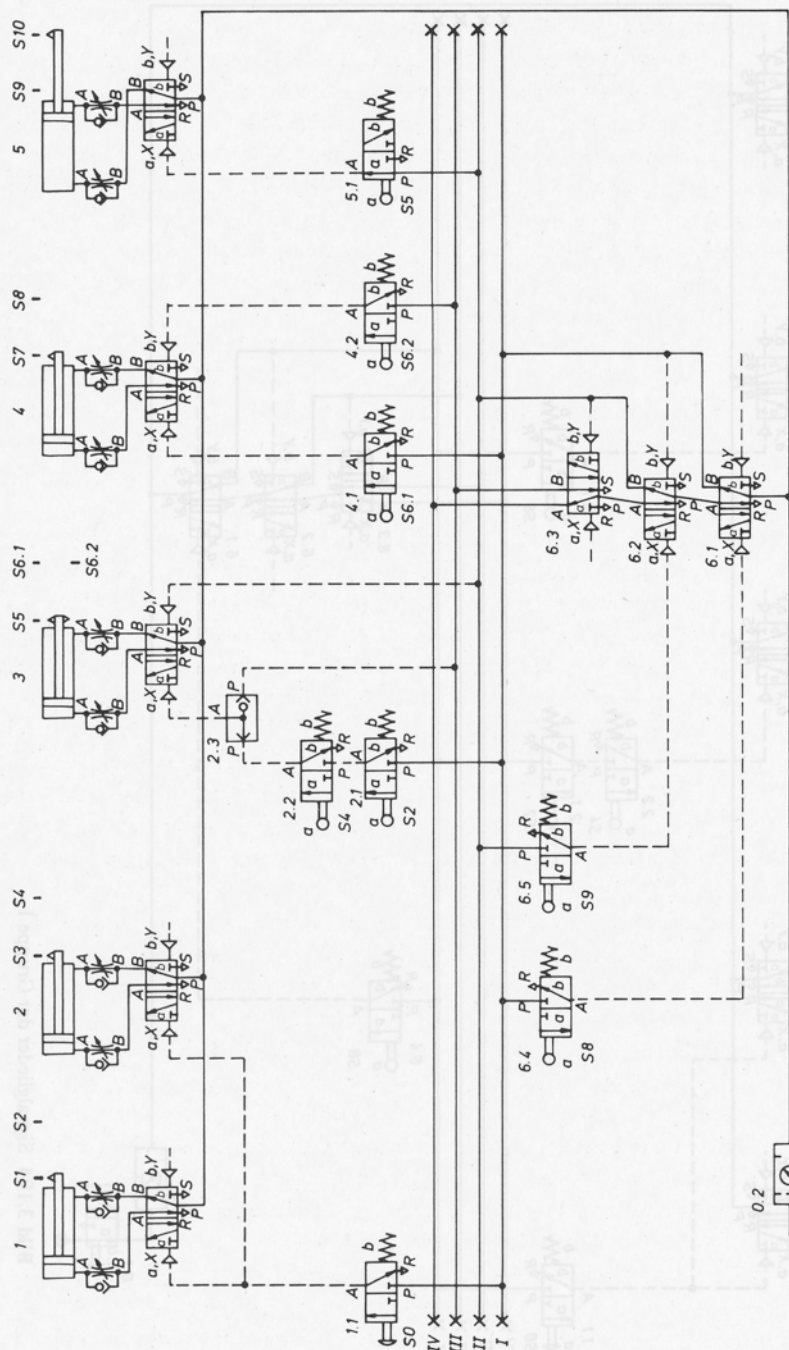


Bild 3.105 Signalglieder der Gruppe II und III

In Bild 3.105 sind zusätzlich zur Gruppe I die Signal- und Steuerleitungen der Gruppe II und III eingetragen. Die erste Kolbenstangenbewegung der Gruppe II ist Z3 -, d.h. der Anschluß Y des Stellgliedes der Steuerkette 3 muß mit der Sammelleitung II verbunden werden. Die Umsteuerung des Stellgliedes kann erfolgen, da der Anschluß Z mit der entlüfteten Sammelleitung I verbunden ist. Die Kolbenstange des Zylinders 3 fährt ein und betätigt in der Endlage das Signalglied S5, Gerät 5.1, denn nach Ablaufplan ist die Kolbenstange des Zylinders 5 einzufahren. Damit ist auch der Arbeitsablauf der Gruppe II abgeschlossen. Die Kolbenstange des Zylinders 5 muß, wenn sie eingefahren ist, das Signalglied S9, Gerät 6.5, betätigen, welches wiederum das Gruppenvorwahlventil Gerät 6.2 in Schaltstellung a bringt. Dadurch wird die Sammelleitung II entlüftet und die Sammelleitung III über das in Schaltstellung b stehende Gerät 6.3 belüftet.

Die erste Kolbenstangenbewegung der Gruppe III ist Z3 +. Der Anschluß X des Stellgliedes der Steuerkette III ist jedoch schon über die Geräte 3.1 und 3.2 mit der Sammelleitung I verbunden. Um den Anschluß X zusätzlich aus der Sammelleitung III belüften zu können, ist wie in Bild 3.105 dargestellt, ein Wechselventil, Gerät 3.3, einzubauen. Über dieses Wechselventil wird gleichzeitig mit der Sammelleitung III der Anschluß X des Stellgliedes der Steuerkette 3 belüftet, und die Kolbenstange des Zylinders 3 fährt aus.

Da die Kolbenstange des Zylinders 3 während eines Arbeitstaktes zweimal aus- und einfährt, sind die Endlagen durch jeweils zwei Signalglieder zu kontrollieren. Das während des Arbeitstaktes zuerst wirksame Signalglied, Gerät 4.1, wird S6.1 bezeichnet, das in der Arbeitsfolge anschließend betätigte Signalglied, Gerät 4.2, das das Einfahren der Kolbenstange des Zylinders 4 bewirkt, wird S6.2 bezeichnet. Die eingefahrene Kolbenstange des Zylinders 4 betätigt Signalglied S7, Gerät 6.6, wodurch das Gruppenvorwahlventil, Gerät 6.3, in Schaltstellung a gebracht wird. Alle Gruppenvorwahlventile sind in Schaltstellung a, die Sammelleitung IV ist belüftet. Die ersten Kolbenstangenbewegungen der Gruppe IV sind Z3 - und Z5 + gleichzeitig. Der Anschluß Z des Stellgliedes der Steuerkette 5 kann direkt mit der Sammelleitung IV verbunden werden (Bild 3.106). Da der Anschluß Y des Stellgliedes der Steuerkette 3 schon mit der Sammelleitung II verbunden ist, muß, wie beim Aufbau der Signalglieder in Gruppe III beschrieben, ein Wechselventil, Gerät 3.4, eingebaut werden. Die eingefahrene Kolbenstange des Zylinders 3 ist, wie oben beschrieben, durch zwei Signalglieder zu kontrollieren, die mit S5.1 und S5.2 bezeichnet werden. Das Signalglied S5.2, Gerät 2.2, ist mit dem von der ausgefahrenen Kolbenstange des Zylinders 5 betätigten Signalglied S10, Gerät 2.1, zu einer UND-Funktion zwischen Sammelleitung IV und Anschluß Y des Stellgliedes der Steuerkette 2 zu verschalten, d.h. die betätigten Signalglieder S5.2 und S10 bewirken das Einfahren der Kolbenstange des Zylinders 2. Die eingefahrene Kolbenstange des Zylinders 2 betätigt das Signalglied S3, Gerät 1.2, wodurch der Anschluß Y des Stellgliedes der Steuerkette 1 belüftet wird und die Kolbenstange des Zylinders 1 einfährt. Damit ist die Ausgangsstellung erreicht, das von der eingefahrenen Kolbenstange 1 betätigte Signalglied S1, Gerät 6.7, schaltet das Gruppenvorwahlventil, Gerät 6.1, in Schaltstellung b, die Sammelleitung IV wird entlüftet, Sammelleitung I wird belüftet und das Gruppenvorwahlventil Gerät 6.2 wird in Schaltstellung b gebracht.

Durch die Betätigung des Start-Signalgliedes S0 wird ein weiterer Arbeitstakt eingeleitet. Soll die Einrichtung kontinuierlich arbeiten, d.h. läuft nach Beendigung des letzten Schrittes der nächste Arbeitstakt automatisch weiter, so ist an Stelle des Signalgliedes S0 mit Hand-Taster ein Signalglied mit Raste zur Aufrechterhaltung der Schaltstellung a einzubauen.

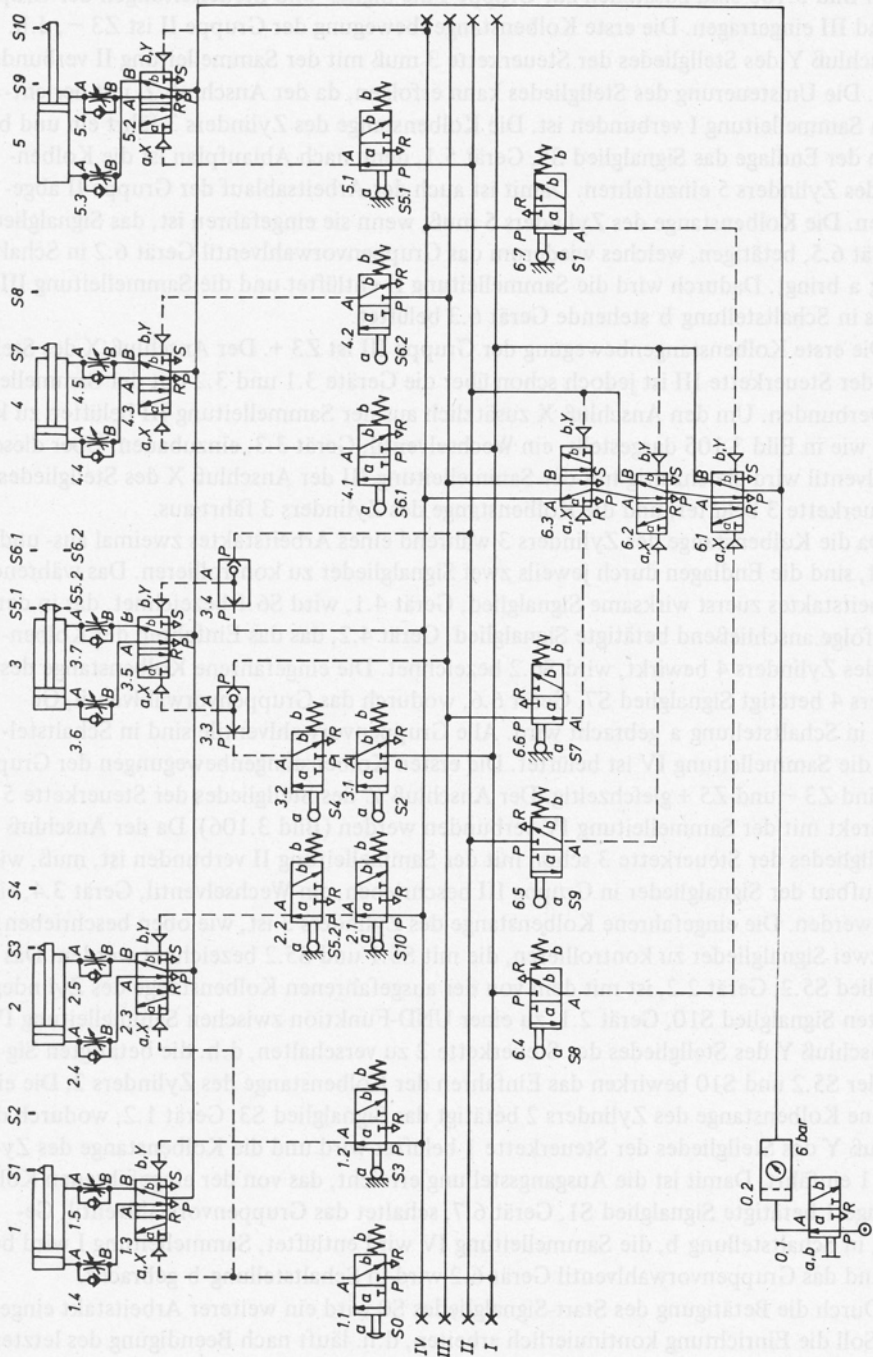


Bild 3.106 Schaltplan aufgebaut nach dem Kaskadensystem

Fahren Kolbenstangen während eines Arbeitstaktes mehrmals aus und ein, dann sind, wie bereits erklärt, die Endlagen dieser Kolbenstangen durch mehrere Signalglieder zu kontrollieren. Da das Anbringen von Signalgliedern im Arbeitsbereich von Vorrichtungen und Maschinen immer Schwierigkeiten bereitet, soll die Zahl der Signalglieder auf ein Minimum beschränkt werden. Durch den im Bild 3.107 dargestellten Steuerungsaufbau können die am Zylinder 3 angebrachten Signalglieder auf je ein Signalglied an den Kolbenstangenendlagen reduziert werden. Die Versorgung der Signalglieder S5 und S6 erfolgt nicht aus den Sammelleitungen, sie sind direkt an die Steuerluft angeschlossen und dauernd mit Druckluft beaufschlagt. Um die von diesen Signalgliedern abgegebenen Signale, im Verlauf des Arbeitstaktes, nur dann wirksam werden zu lassen, wenn sie benötigt werden, sind sie mit den jeweiligen Sammelleitungen über UND-Glieder (Gerät 2.2, 4.2, 4.3, 5.2) zu verknüpfen. In Bild 3.108 ist das Funktionsdiagramm zur Steuerung nach Bild 3.107 dargestellt.

Die Steuerung kann, wie im Beispiel 4.9 dargestellt, dahingehend erweitert werden, daß mit dem Einschalten des Hauptventiles ein Setzimpuls an das unterste Gruppenvorwahlventil gegeben wird, der die Steuerung in Ausgangsstellung bringt. Außerdem ist der Setzimpuls in Verbindung mit der Gefahren-Abschaltung auch an die Stellglieder der Steuerketten geleitet, die beim Einschalten der Druckluft oder bei Gefahren-Abschaltung eine bestimmte Lage einnehmen müssen.

3.9.4 Ablaufkette

3.9.4.1 Allgemeines

Die Ablaufkette ermöglicht den schematischen Aufbau umfangreicher Steuerungen unter Verwendung der von verschiedenen Herstellern angebotenen Bauelemente. Mit der Ablaufkette kann der Arbeitsablauf problemlos von einer Kette in mehrere parallel ablaufende Ketten, oder je nach Stellung eines Wahlschalters in getrennt ablaufende Ketten aufgeteilt und nach Durchlaufen der einzelnen Ketten wieder zu einer gemeinsamen Kette zusammengefaßt werden. Außerdem können Programmschleifen ein- oder mehrmals durchlaufen werden.

Unter der Ablaufkette versteht man ein Schaltwerk, das sich aus aneinandergereihten Speichern zusammensetzt, wobei von den n Ausgängen der Ablaufkette nur einer der Ausgänge während eines Schrittes den Signalzustand 1 führt. Das Weiterschalten von einem Schritt auf den programmgemäß folgenden erfolgt bei erfüllten Weiterschaltbedingungen prozeß- oder zeitgeführt.

3.9.4.2 Aufbau der Ablaufkette

Der grundsätzliche Aufbau einer prozeßgeführten Ablaufkette ist in Bild 3.110, für den im Weg-Schritt-Diagramm und im Funktionsplan Bild 3.109 festgelegten Arbeitsablauf dargestellt.

Um unabhängig von der Gerätetechnik zu sein, ist der informatorische Teil mit Sinnbildern nach DIN 40700 dargestellt, der energetische Teil ist mit Sinnbildern nach ISO 1219 gezeichnet.

Der Aufbau der Ablaufkette kann direkt aus dem Funktionsplan abgeleitet werden. Für jeden Schritt im Funktionsplan ist in der Ablaufkette ein Speicher $Y \dots$ vorzusehen. Der Speicher $Y1$ (Schritt 1) wird gesetzt, wenn die Startvoraussetzungen (Weiterschaltbedingun-

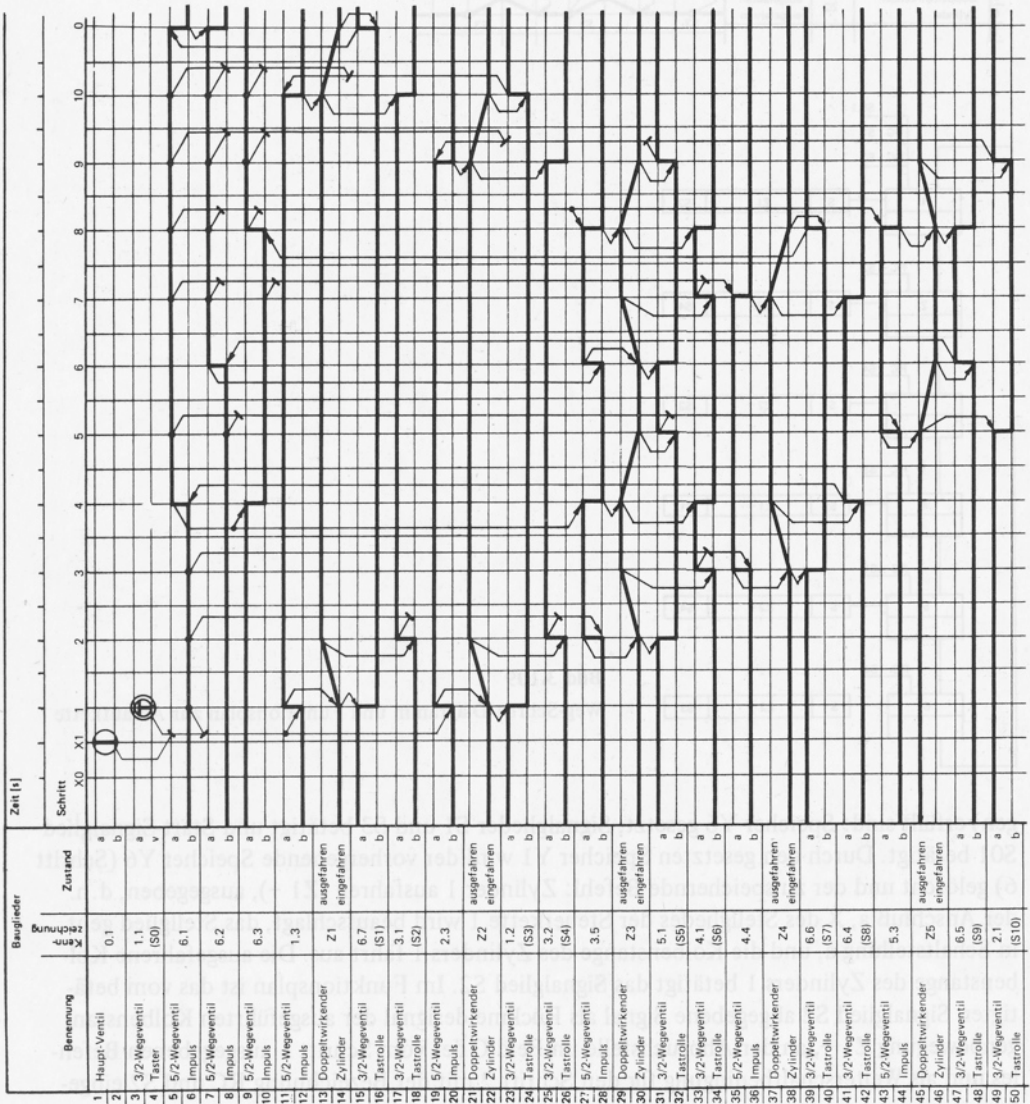


Bild 3.108 Funktionsplan zur Steuerung nach Bild 3.107 (Kaskadensystem)

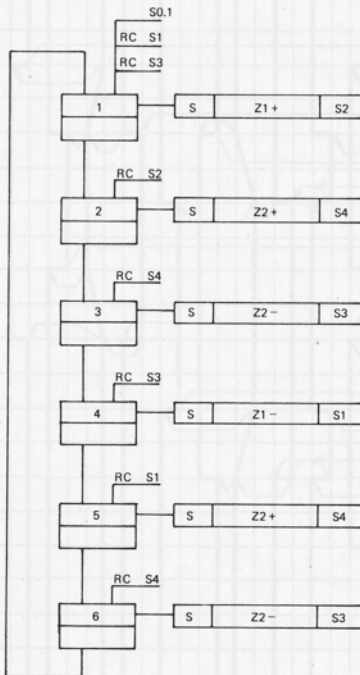
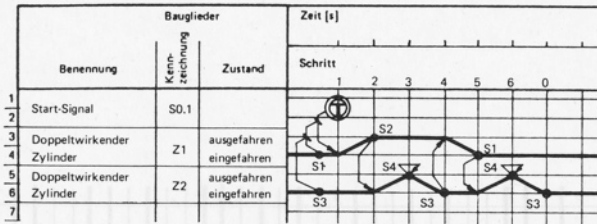


Bild 3.109

Weg-Schritt-Diagramm und Funktionsplan zur Ablaufkette

gen) erfüllt sind: Speicher Y6 gesetzt, Signalglieder S1 und S3 betätigt und Start-Signalglied S01 betätigt. Durch den gesetzten Speicher Y1 wird der vorhergehende Speicher Y6 (Schritt 6) gelöscht und der zu speichernde Befehl: Zylinder 1 ausfahren (Z1 +), ausgegeben, d.h. der Anschluß a, X des Stellgliedes der Steuerkette 1 wird beaufschlagt, das Stellglied geht in Schaltstellung a, und die Kolbenstange des Zylinders 1 fährt aus. Die ausgefahrene Kolbenstange des Zylinders 1 betätigt das Signalglied S2. Im Funktionsplan ist das vom betätigten Signalglied S2 abgegebene Signal als Rückmeldesignal der ausgeführten Kolbenstangenbewegung Z1 +, an der Abbruchstelle im Feld C des vom Schritt 1 ausgegebenen Befehles und als Weberschaltbedingung für den Schritt 2 mit der Bezeichnung RC und S2 eingetragen.

Im Schaltplan sind die Weberschaltbedingungen für den Speicher 2 durch die am UND-Glied vor dem Speicher anstehenden Signale, Speicher Y1 gesetzt und Signalglied S2 betätigt, erfüllt. Durch den gesetzten Speicher Y2 wird der vorhergehende Speicher Y1

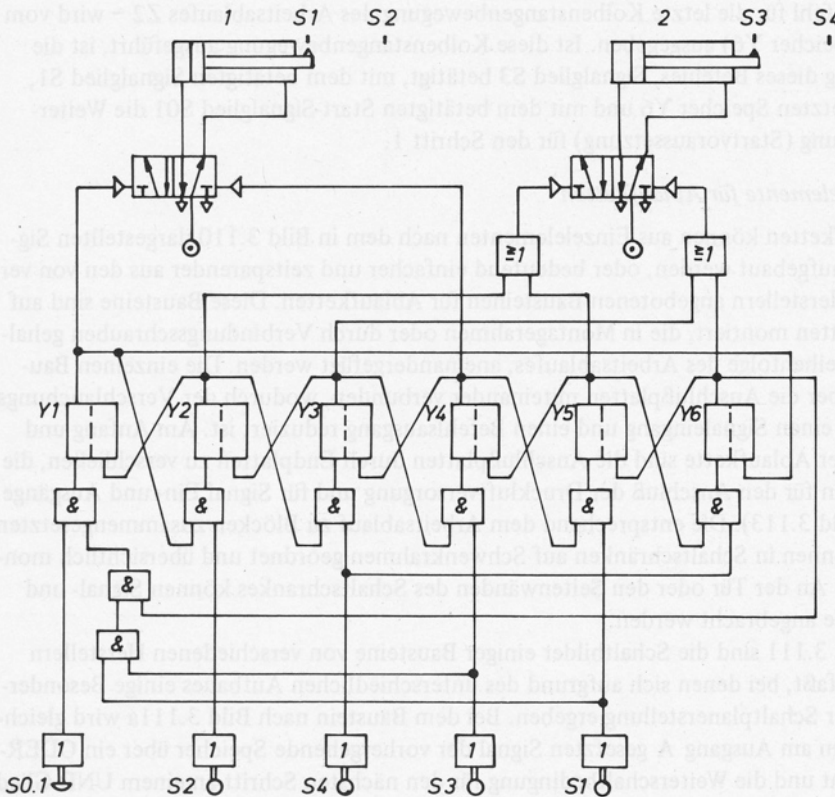


Bild 3.110 Grundsätzlicher Aufbau einer prozeßgeführten Ablaufkette mit Sinnbildern nach DIN 40 700

(Schritt 1) gelöscht und der zu speichernde Befehl, Zylinder 2 ausfahren (Z2 +), ausgegeben, d.h. der Anschluß a, X des Stellgliedes der Steuerkette 2 wird beaufschlagt, das Stellglied geht in Schaltstellung a, und die Kolbenstange des Zylinders 2 fährt aus. Die ausgefahrene Kolbenstange des Zylinders 2 (Z2 +) betätigt das Signalglied S4. Dadurch sind die Weiterschaltbedingungen für den Speicher Y3 (Schritt 3) erfüllt: Speicher Y2 gesetzt und Signalglied S4 betätigt. Durch den gesetzten Speicher Y3 wird der vorhergehende Speicher Y2 (Schritt 2) gelöscht und der Befehl Z2 – ausgegeben. Die Rückmeldung dieses Befehles, Signalglied S3 betätigt, ist mit dem gesetzten Speicher Y3 die Weiterschaltbedingung für den Speicher Y4 (Schritt 4). Die Weiterschaltbedingungen für die folgenden Schritte können, wie oben beschrieben, aus dem Funktionsplan abgelesen und direkt in den Schaltplan übertragen werden.

Da die Kolbenstange des Zylinders 2 während des Arbeitstaktes zweimal ausfährt, sind die Ausgänge der Speicher Y2 und Y5 und die Ausgänge der Speicher Y3 und Y6 durch ODER-Glieder zu verbinden.

Der Befehl für die letzte Kolbenstangenbewegung des Arbeitsablaufes Z2 – wird vom Schritt 6 (Speicher Y6) ausgegeben. Ist diese Kolbenstangenbewegung ausgeführt, ist die Rückmeldung dieses Befehles, Signalglied S3 betätigt, mit dem betätigten Signalglied S1, mit dem gesetzten Speicher Y6 und mit dem betätigten Start-Signalglied S01 die Weiterschaltbedingung (Startvoraussetzung) für den Schritt 1.

3.9.4.3 Bauelemente für Ablaufketten

Ablaufketten können aus Einzelementen nach dem in Bild 3.110 dargestellten Signalflußplan aufgebaut werden, oder bedeutend einfacher und zeitsparender aus den von verschiedenen Herstellern angebotenen Bausteinen für Ablaufketten. Diese Bausteine sind auf Anschlußplatten montiert, die in Montagerahmen oder durch Verbindungsschrauben gehalten, in der Reihenfolge des Arbeitsablaufes, aneinandergefügt werden. Die einzelnen Bausteine sind über die Anschlußplatten miteinander verbunden, wodurch der Verschlauchungsaufwand auf einen Signaleingang und einen Befehlsausgang reduziert ist. Am Anfang und am Ende einer Ablaufkette sind die Anschlußplatten durch Endplatten zu verschließen, die Möglichkeiten für den Anschluß der Druckluftversorgung und für Signal Ein- und Ausgänge vorsehen (Bild 3.113). Die entsprechend dem Arbeitsablauf zu Blöcken zusammengesetzten Bausteine können in Schaltschränken auf Schwenkrahmen geordnet und übersichtlich montiert werden. An der Tür oder den Seitenwänden des Schaltschranks können Signal- und Anzeigergeräte angebracht werden.

In Bild 3.111 sind die Schaltbilder einiger Bausteine von verschiedenen Herstellern zusammengefaßt, bei denen sich aufgrund des unterschiedlichen Aufbaues einige Besonderheiten bei der Schaltplanerstellung ergeben. Bei dem Baustein nach Bild 3.111a wird gleichzeitig mit dem am Ausgang A gesetzten Signal der vorhergehende Speicher über ein ODER-Glied gelöscht und die Weiterschaltbedingung für den nächsten Schritt an einem UND-Glied vorbereitet, bis durch die Rückmeldung RC (Quittierung der durch das Signal A eingeleiteten Bewegung) die UND-Bedingung erfüllt ist, und mit dem Signal S der nächste Speicher gesetzt wird. Das ODER-Glied vor dem Speicher ermöglicht über die zentrale Leitung L das Rücksetzen der gesamten Steuerung. Die Bauweise dieser Elemente verlangt für das letzte Glied der Ablaufkette den in Bild 3.111b dargestellten Baustein, der durch das Rücksetzsignal nicht gelöscht, sondern gesetzt wird und damit die für den Start notwendige Versorgung des Startventiles S0 gewährleistet (siehe Bild 3.112).

Der Aufbau des Bausteines in Bild 3.111d ist ähnlich dem Aufbau des Bausteines in Bild 3.111a, jedoch ist das ODER-Glied in der Speicherrückstell-Leitung so geschaltet, daß sich für alle Speicher der Ablaufkette eine gemeinsame, zwangsläufige Rückstellung ergibt, wodurch sich ein Kontrollbaustein am Ende der Ablaufkette erübrigt. Durch die Verbindung der beiden Anschlüsse S und R am letzten Bauglied werden nach Rückmeldung der ausgeführten, letzten Bewegung des Arbeitsablaufes alle Speicher der Ablaufkette gelöscht. Erst nach dem Löschen aller Speicher ist durch einen Startimpuls das Auslösen eines neuen Arbeitsablaufes möglich.

Bei den in den Bildern 3.111e bis g dargestellten Bausteinen ist die Schaltmöglichkeit eines 5/2-Wegeventiles derart ausgenutzt, daß die UND-Bedingung zum Weiterschalten in den nächsten Schritt mit Hilfe der Druckluftversorgung realisiert wird. Die Verbindung der einzelnen Speicher ist wie die Schaltung der Gruppenvorwahlventile des Kaskadensystemes

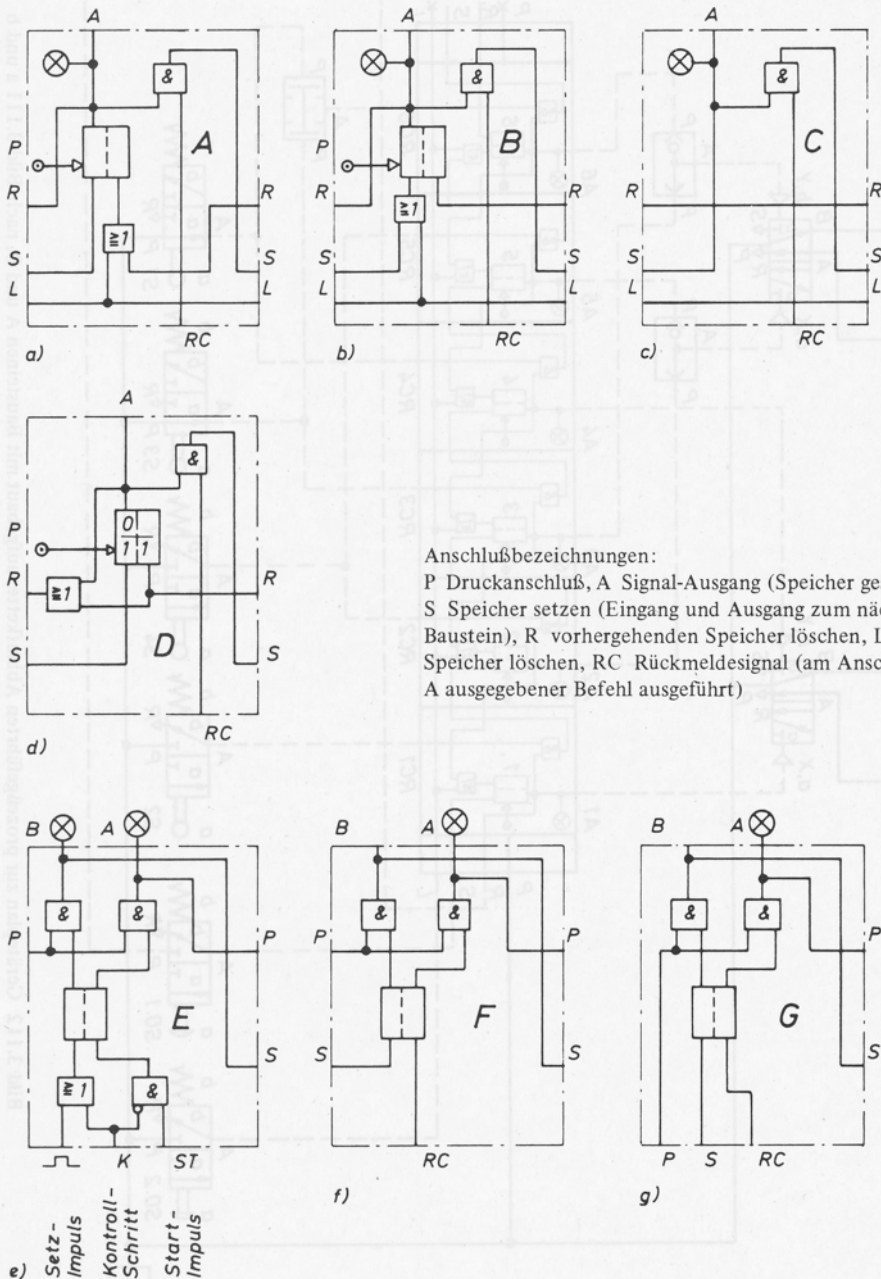


Bild 3.111 Bausteine für Ablaufsteuerungen: a) Grundbaustein (Festo, Telemecanique), b) Kontrolleinheit für Arbeitstakt-Ende (Festo), c) UND-Baustein für reduzierte Ablaufkette (Festo), d) Grundbaustein (Crouzet), e) Vorbereitungseinheit (Bosch), f) Grundbaustein (Bosch), g) Trenneinheit (Bosch)

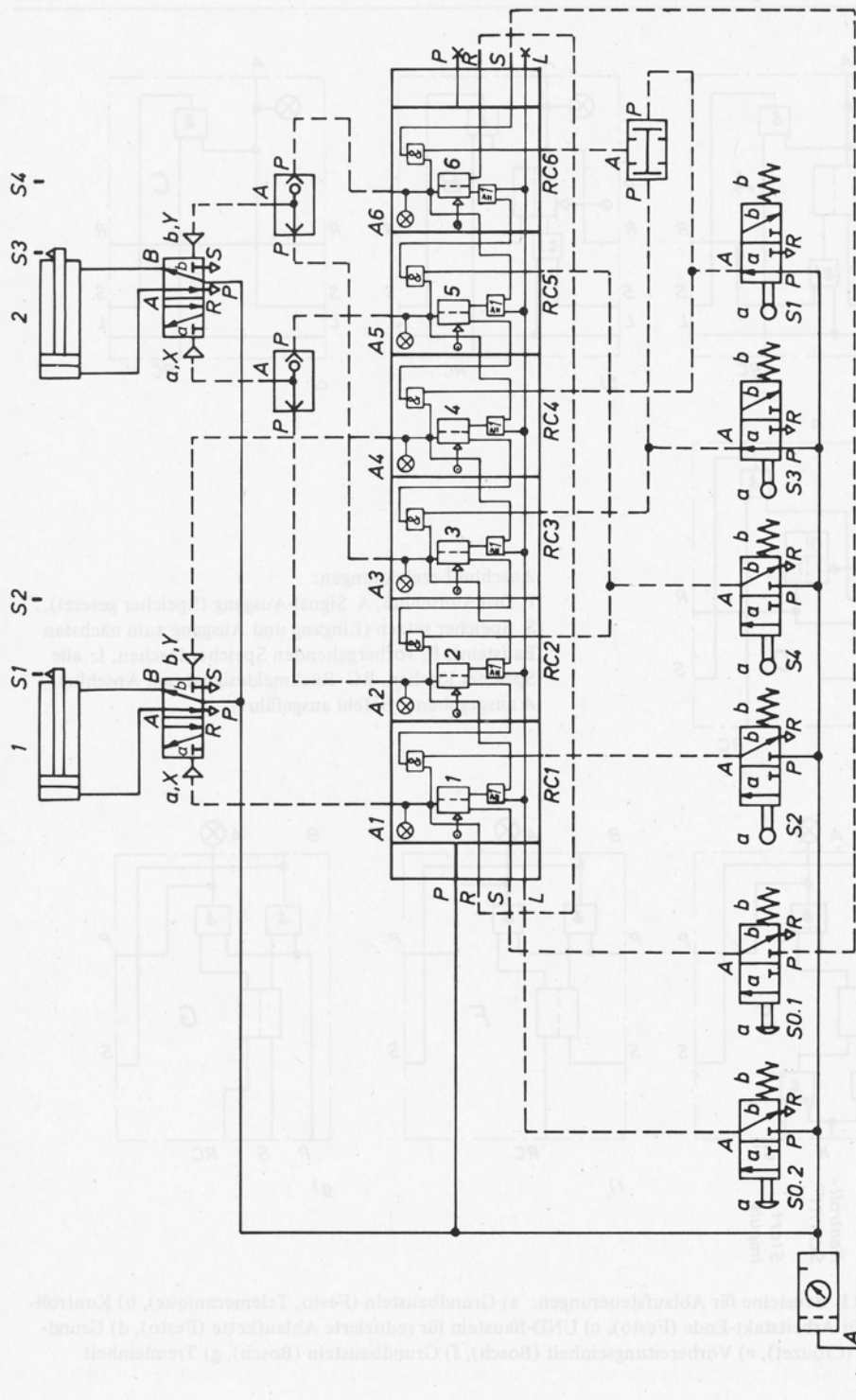


Bild 3.112 Geräteplan zur prozessgeführten Ablaufkette, aufgebaut mit Bausteinen A und B, nach Bild 3.111 a und b

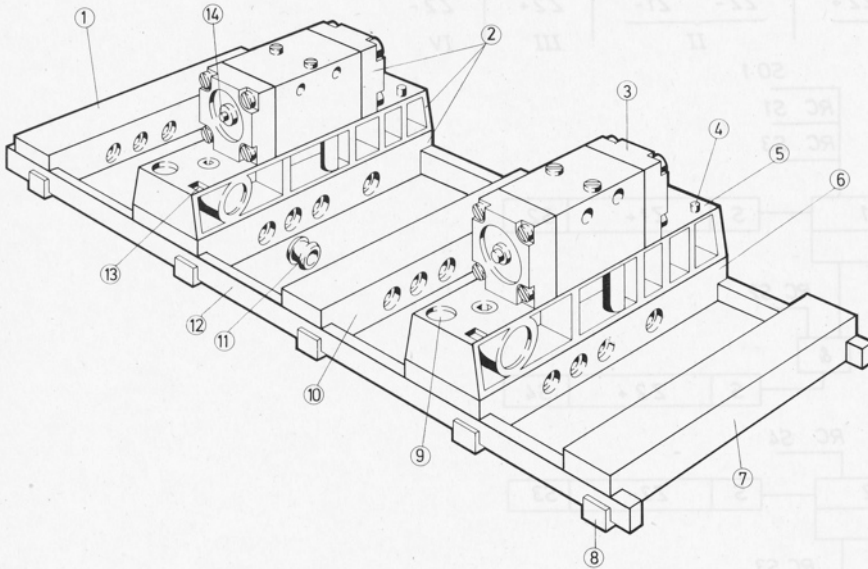


Bild 3.113 Bauteile einer Ablaufkette (Festo)

1 Endplatte, 2 Baustein, 3 Impulsventil (Speicher), 4 Druckanzeige, 5 Baustein mit ODER- und UND-Element, 6 Anschlußplatte, 7 Endplatte, 8 Befestigungswinkel, 9 Bezeichnung des Bausteines, 10 Verzweigungsplatte, 11 Dichthülse, 12 Montagerahmen, 13 Nut für Bezeichnungsschild, 14 Handbetätigung und Stellsanzeige des Speichers

aufgebaut. Eine für dieses System notwendige Vorbereitungseinheit, mit der das Richten der ersten Speicher durch einen Setzimpuls und die Startverriegelung realisiert werden, ist in Bild 3.111e dargestellt. Eine Trenneinheit (Bild 3.111g) ermöglicht das Aufteilen des Arbeitsablaufes in mehrere parallel laufende Ketten.

Bei der Verwendung der oben angeführten Bausteine vereinfacht sich die Darstellung der Ablaufkette im Schaltplan derart, daß nur aneinandergereihte Felder, die mit der Schritt-nummer gekennzeichnet sind, gezeichnet werden, an die die Leitungen der Signal-Eingänge und Befehls-Ausgänge heranzuziehen sind. In die Felder sind zusätzlich zu den Schritt-nummern, wenn nicht wie in den Bildern 3.112 und 3.113 der Signalflußplan oder Geräteplan eingezeichnet ist, die von den Herstellern angegebenen Typbezeichnungen des Bausteines einzutragen. Bei den in diesem Buch behandelten Beispielen geben die Buchstaben A ... G in den Feldern den Hinweis auf die in Bild 3.111 zusammengestellten Bausteine.

3.9.4.4 Reduzierte Ablaufkette

Der Zweck der reduzierten Ablaufkette ist, teure Speicherelemente im Schrittwerk durch billigere UND-Elemente zu ersetzen.

Der Arbeitsablauf ist, wie beim Kaskadensystem beschrieben, in einer Zeile aufzuschreiben und in Gruppen einzuteilen, in denen eine Zylinderbezeichnung nur einmal vorkommt. Wird der im Weg-Schritt-Diagramm (Bild 3.109) festgelegte Arbeitsablauf auf die Möglichkeit der Speicherreduzierung untersucht, dann ergibt sich aus dem in Gruppen ein-

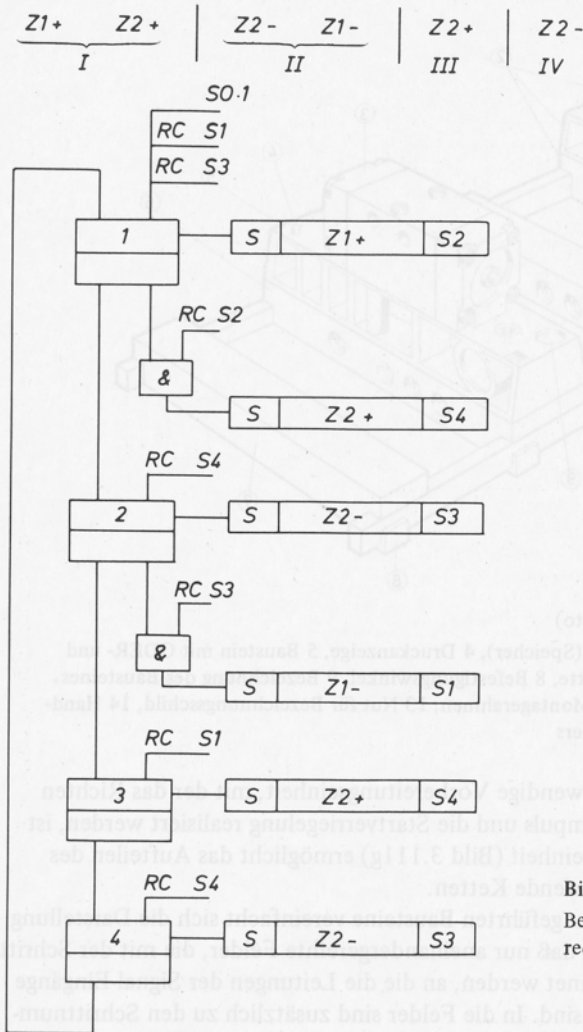


Bild 3.114

Bewegungsfolge und Funktionsplan zur reduzierten Ablaufkette

geteilten Arbeitsablauf der in Bild 3.114 dargestellte Funktionsplan; d.h. die 4 Gruppen werden durch 4 Schritte dargestellt, die als Befehle die ersten Kolbenstangenbewegungen jeder Gruppe ausgegeben. Das Rückmeldesignal der ausgeführten Bewegung gibt als UND-Verbindung mit dem gesetzten Schritt den Befehl für die nächste Kolbenstangenbewegung. Das Rückmeldesignal der letzten Kolbenstangenbewegung einer Gruppe setzt den nächsten Schritt. Der vorhergehende Schritt wird gelöscht und der Befehl für die erste Kolbenstangenbewegung der nächsten Gruppe ausgegeben.

Die Darstellung des Geräteplanes bleibt gegenüber dem Geräteplan in Bild 3.112 unverändert, die UND-Elemente (Bausteine C) können in den Aufbau der Ablaufkette, wie in Bild 3.115 dargestellt, eingefügt werden.

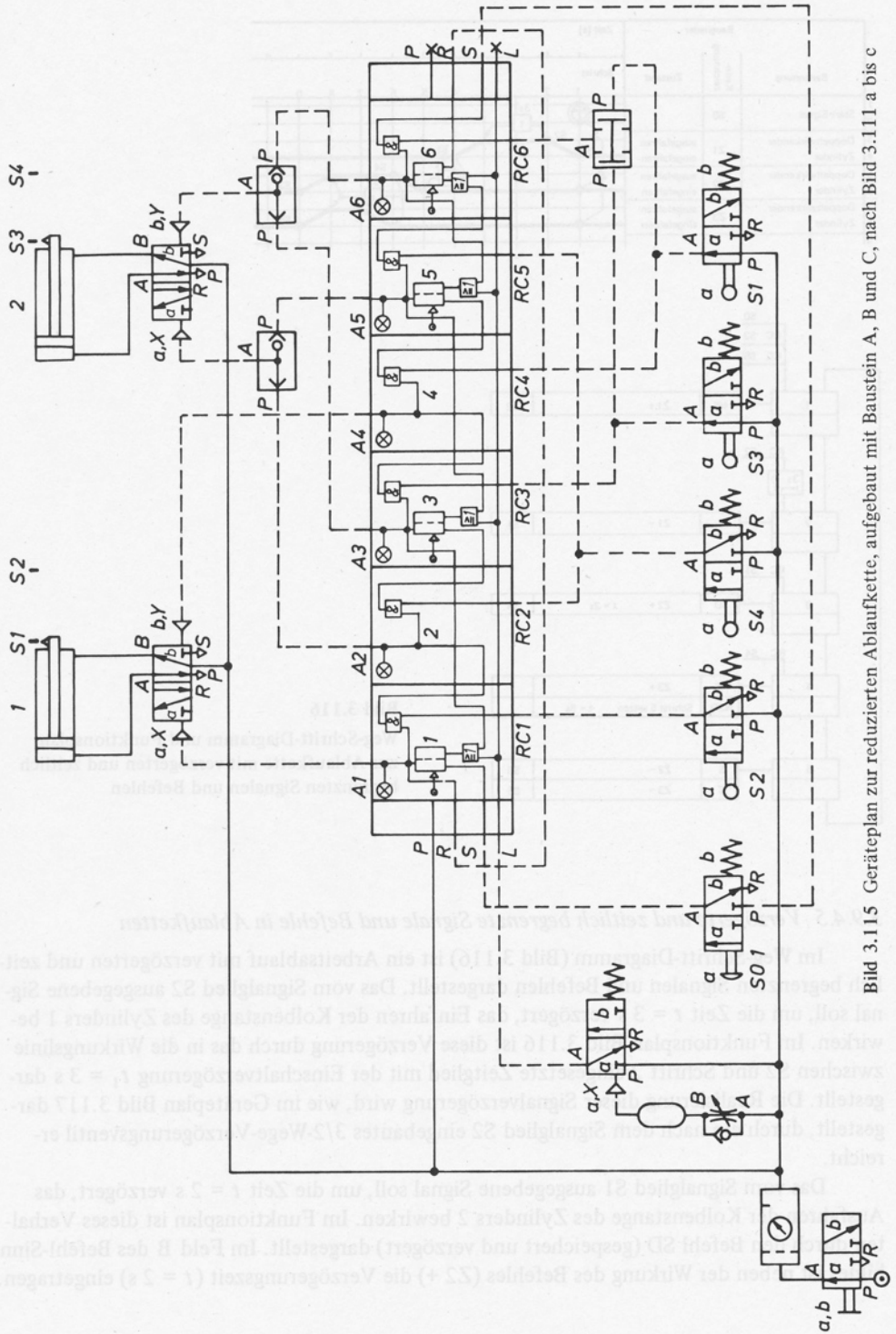


Bild 3.115 Geräteplan zur reduzierten Ablaufkette, aufgebaut mit Baustein A, B und C, nach Bild 3.111 a bis c

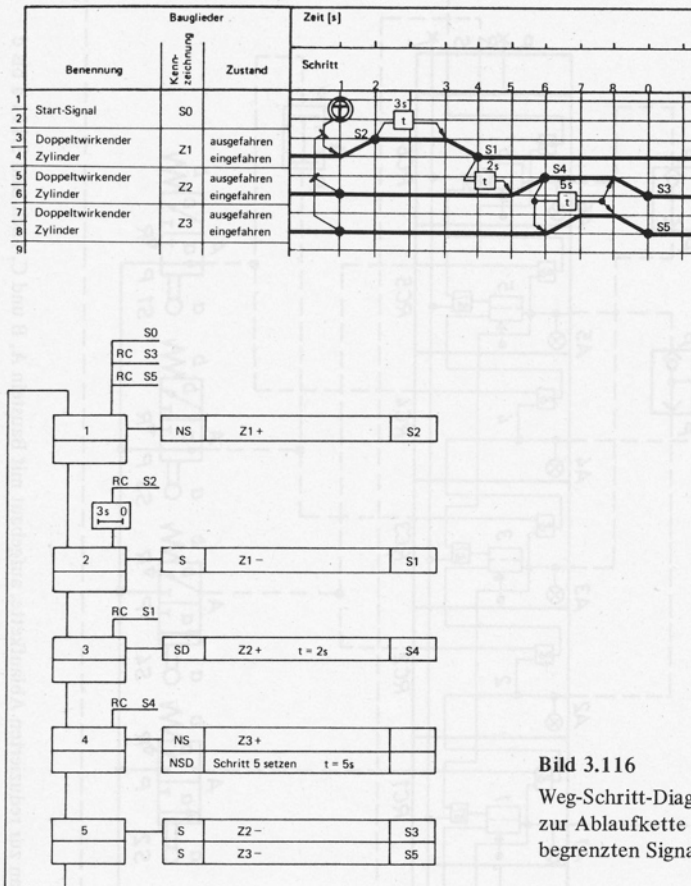


Bild 3.116

Weg-Schritt-Diagramm und Funktionsplan zur Ablaufkette mit verzögerten und zeitlich begrenzten Signalen und Befehlen

3.9.4.5 Verzögerte und zeitlich begrenzte Signale und Befehle in Ablaufketten

Im Weg-Schritt-Diagramm (Bild 3.116) ist ein Arbeitsablauf mit verzögerten und zeitlich begrenzten Signalen und Befehlen dargestellt. Das vom Signalglied S2 ausgegebene Signal soll, um die Zeit $t = 3\text{ s}$ verzögert, das Einfahren der Kolbenstange des Zylinders 1 bewirken. Im Funktionsplan Bild 3.116 ist diese Verzögerung durch das in die Wirkungsline zwischen S2 und Schritt 2 eingesetzte Zeitglied mit der Einschaltverzögerung $t_1 = 3\text{ s}$ dargestellt. Die Realisierung dieser Signalverzögerung wird, wie im Geräteplan Bild 3.117 dargestellt, durch ein nach dem Signalglied S2 eingebautes 3/2-Wege-Verzögerungsventil erreicht.

Das vom Signalglied S1 ausgegebene Signal soll, um die Zeit $t = 2\text{ s}$ verzögert, das Ausfahren der Kolbenstange des Zylinders 2 bewirken. Im Funktionsplan ist dieses Verhalten durch den Befehl SD (gespeichert und verzögert) dargestellt. Im Feld B des Befehl-Sinnbildes ist neben der Wirkung des Befehles ($Z2 +$) die Verzögerungszeit ($t = 2\text{ s}$) eingetragen.

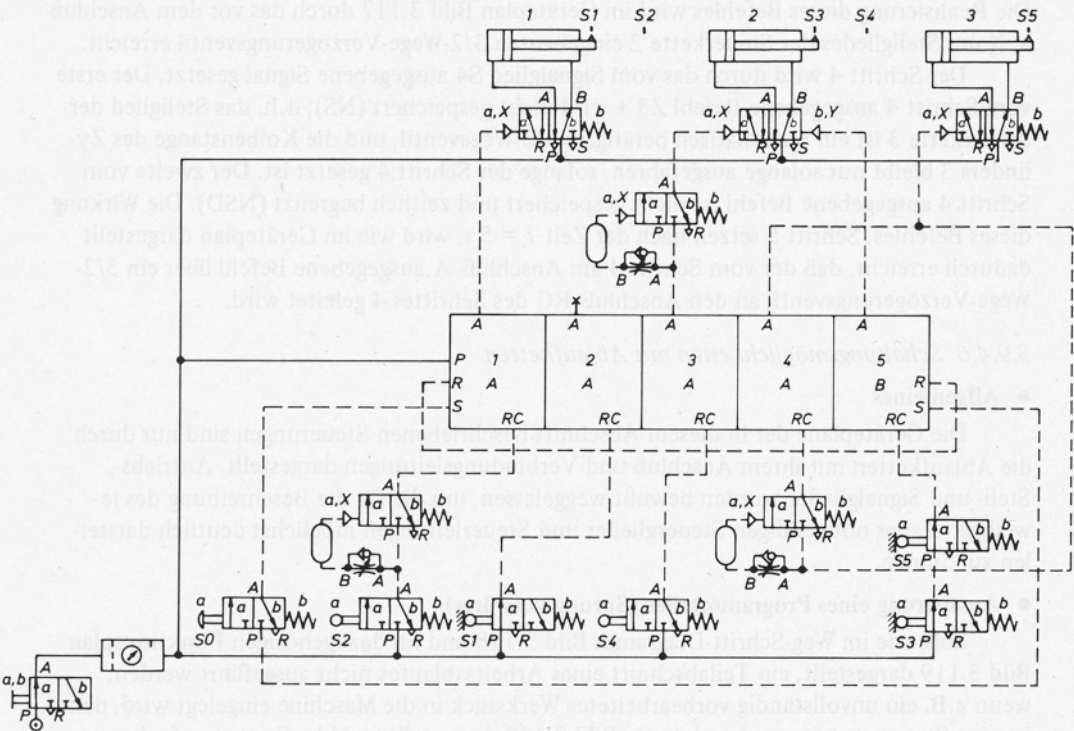


Bild 3.117 Geräteplan der Ablaufkette mit verzögerten und zeitlich begrenzten Signalen und Befehlen

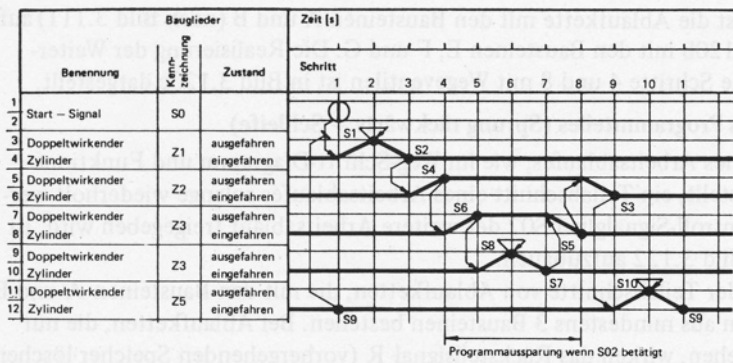


Bild 3.118 Weg-Schritt-Diagramm zum Steuerungsablauf: Aussparung eines Programmteiles

Die Realisierung dieses Befehles wird im Geräteplan Bild 3.117 durch das vor dem Anschluß a, X des Stellgliedes der Steuerkette 2 eingebauten 3/2-Wege-Verzögerungsventil erreicht.

Der Schritt 4 wird durch das vom Signalglied S4 ausgegebene Signal gesetzt. Der erste vom Schritt 4 ausgegebene Befehl Z3 + wird nicht gespeichert (NS); d.h. das Stellglied der Steuerkette 3 ist ein pneumatisch betätigtes 5/2-Wegeventil, und die Kolbenstange des Zylinders 3 bleibt nur solange ausgefahren, solange der Schritt 4 gesetzt ist. Der zweite vom Schritt 4 ausgegebene Befehl ist nicht gespeichert und zeitlich begrenzt (NSD). Die Wirkung dieses Befehles, Schritt 5 setzen nach der Zeit $t = 5$ s, wird wie im Geräteplan dargestellt dadurch erreicht, daß der vom Schritt 4 am Anschluß A ausgegebene Befehl über ein 3/2-Wege-Verzögerungsventil an den Anschluß RC des Schrittes 4 geleitet wird.

3.9.4.6 Schaltungsmöglichkeiten mit Ablaufketten

• Allgemeines

Die Gerätepläne der in diesem Abschnitt beschriebenen Steuerungen sind nur durch die Ablaufketten mit ihrem Anschluß und Verbindungsleitungen dargestellt. Antriebs-, Stell- und Signalglieder wurden bewußt weggelassen, um die für die Beschreibung des jeweiligen Falles notwendigen Steuerglieder und Steuerleitungen möglichst deutlich darstellen zu können.

• Aussparung eines Programmteiles (Sprung vorwärts)

Soll, wie im Weg-Schritt-Diagramm Bild 3.118 und im dazugehörigen Funktionsplan Bild 3.119 dargestellt, ein Teilabschnitt eines Arbeitsablaufes nicht ausgeführt werden, wenn z. B. ein unvollständig vorbearbeitetes Werkstück in die Maschine eingelegt wird, dann ist eine Steuerung entsprechend der in Bild 3.120 dargestellten Ablaufketten aufzubauen.

Aus dem Funktionsplan kann abgelesen werden, daß die Schritte 4 ... 7 nur dann ablaufen, wenn das Kontroll-Signalglied S02 nicht betätigt ist. Wird das Signalglied S02 durch das eingelegte und gespannte Werkstück betätigt, z. B. durch eine fehlende Bohrung, dann werden die Schritte 4 ... 7 nicht ausgeführt, die Spannung öffnet und das Werkstück wird ausgeworfen.

In Bild 3.120a ist die Ablaufkette mit den Bausteinen A und B (nach Bild 3.111) aufgebaut und im Bild 3.120b mit den Bausteinen E, F und G. Die Realisierung der Wechselschaltbedingung für die Schritte 4 und 8 mit Wegeventilen ist in Bild 3.120c dargestellt.

• Wiederholung eines Programmteiles (Sprung rückwärts – Schleife)

Soll während eines Arbeitsablaufes, wie im Weg-Schritt-Diagramm und Funktionsplan Bild 3.121 dargestellt, ein Teilabschnitt eines Arbeitsablaufes solange wiederholt werden, bis durch das Kontroll-Signalglied S02 der weitere Arbeitsablauf freigegeben wird, ist eine Steuerung nach Bild 3.122 aufzubauen.

Ablaufketten oder Teilabschnitte von Ablaufketten, die mit den Bausteinen A und B aufgebaut sind, müssen aus mindestens 3 Bausteinen bestehen. Bei Ablaufketten, die nur aus 2 Bausteinen bestehen, wirken das Rückstellsignal R (vorhergehenden Speicher löschen) des zweiten Schrittes und das Setzsignal S auf den Speicher des ersten Schrittes ein, wodurch das Setzen des Speichers im Schritt 1 unmöglich wird. Dieser Zustand ist bei dem in Bild 3.122a dargestellten Steuerungsablauf dahingehend umgangen, daß die für die Programmschleife notwendigen Bausteine 3 und 4 (Z2 +, Z2 -), bei denen das Rückstellsignal R nur

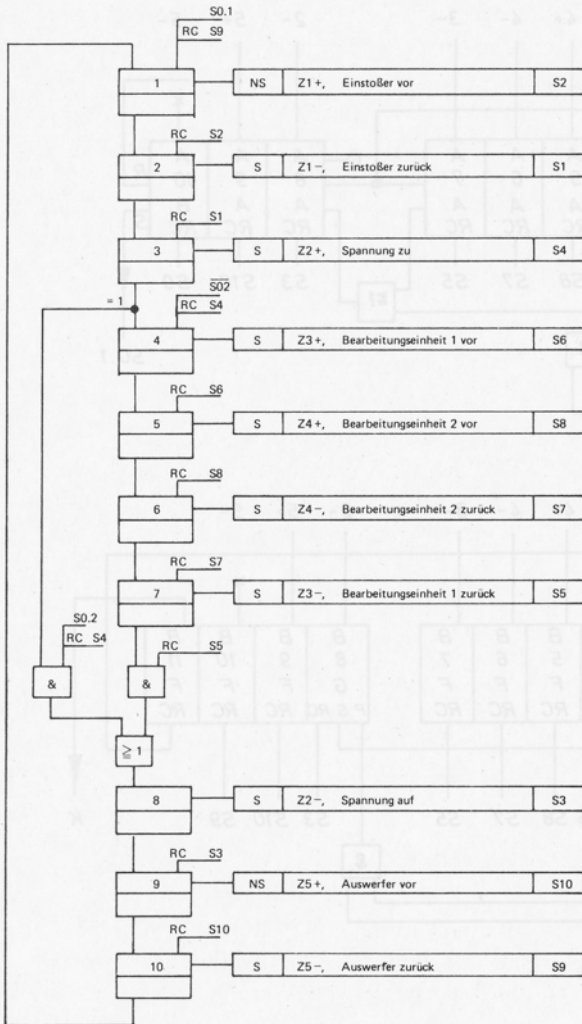


Bild 3.119

Funktionsplan zum Steuerungsablauf: Aussparung eines Programmteiles

über 2 Bausteine geschaltet wäre, um den Ergänzungsspeicher 4a erweitert sind. Durch das Rückmeldesignal S3 wird der Speicher 4a gesetzt und der Speicher 4 gelöscht. Der Befehlsausgang A des Bausteines 4a wird an die Schaltelemente zur Vorwahl der Programmschleife und zur Vorwahl des weiteren Arbeitsablaufes herangeführt. Die Anschlüsse S und RC des Ergänzungsspeichers 4a werden nicht belegt.

In Bild 3.122b ist die für diesen Arbeitsablauf notwendige Steuerung mit Bausteinen E, F und G aufgebaut.

- **Parallel laufende Teilprogramme (UND-Verzweigung)**

Laufen in einer Steuerung, wie im Weg-Schritt-Diagramm und Funktionsplan Bild 3.123 dargestellt, mehrere Ablaufketten gleichzeitig und unabhängig voneinander ab und

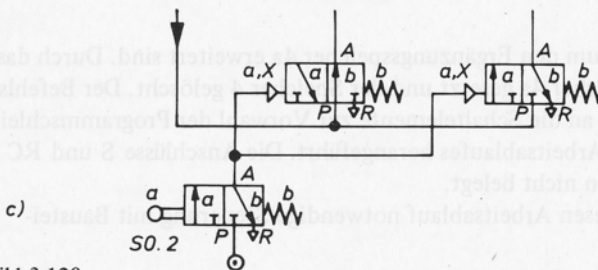
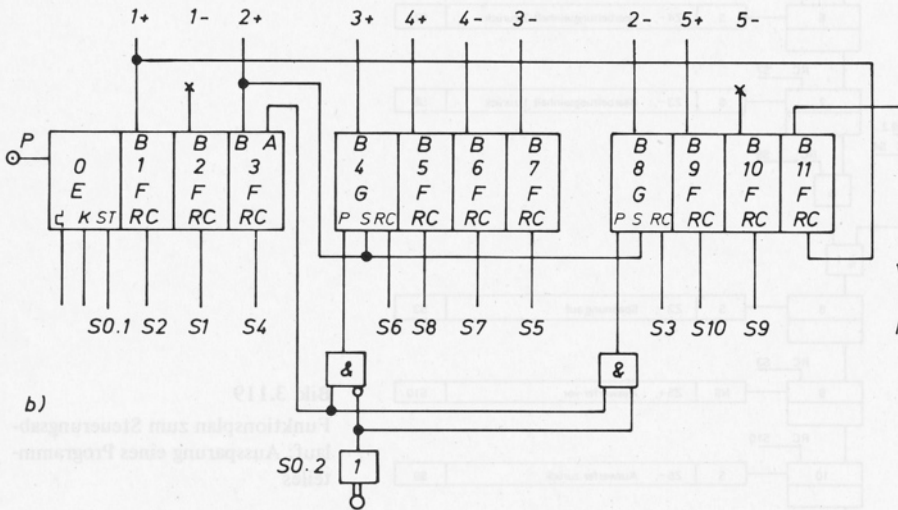
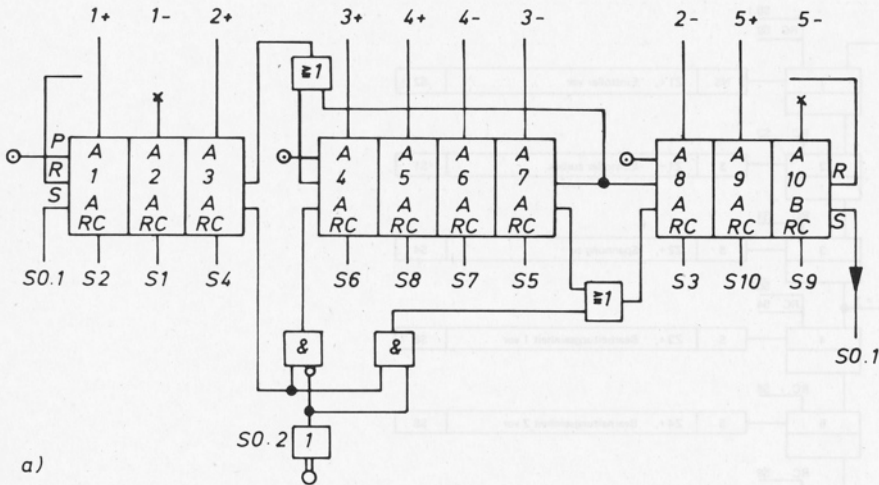


Bild 3.120

Ablaufkette mit Aussparung eines Programmteiles

a) Ablaufkette mit Bausteinen A und B, b) Ablaufkette mit Bausteinen E, F und G c) Realisierung der Steuerung für die Einleitung der Aussparung oder Einleitung des vollen Programmes

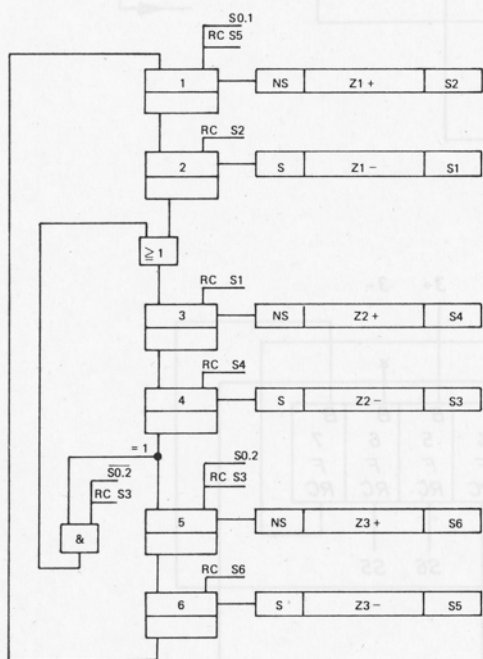
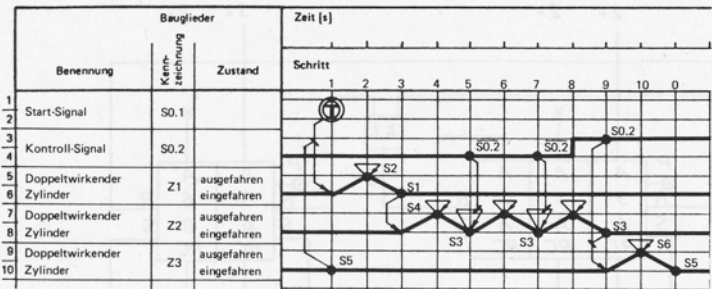


Bild 3.121
Weg-Schritt-Diagramm und Funktionsplan zum Steuerungsablauf: Programmsprung rückwärts (Schleife)

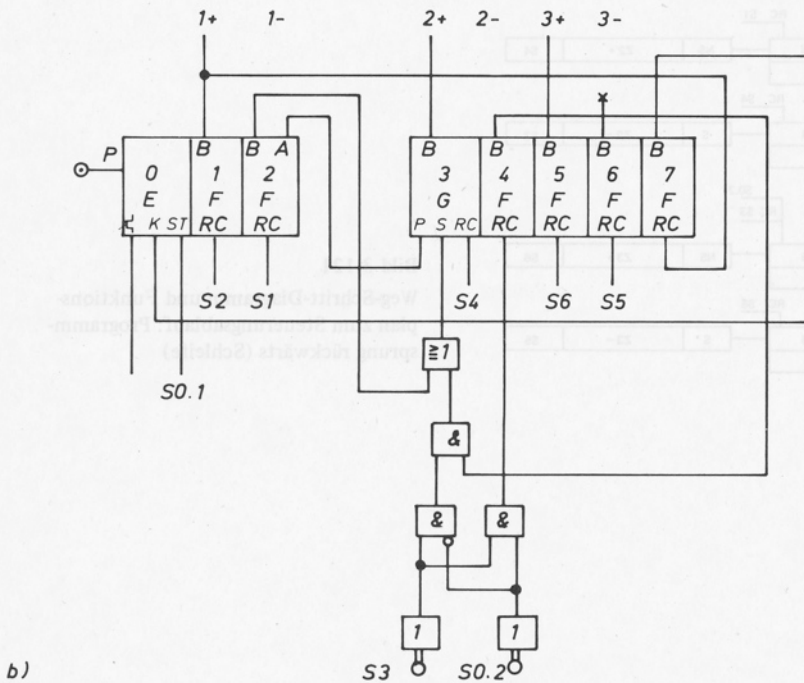
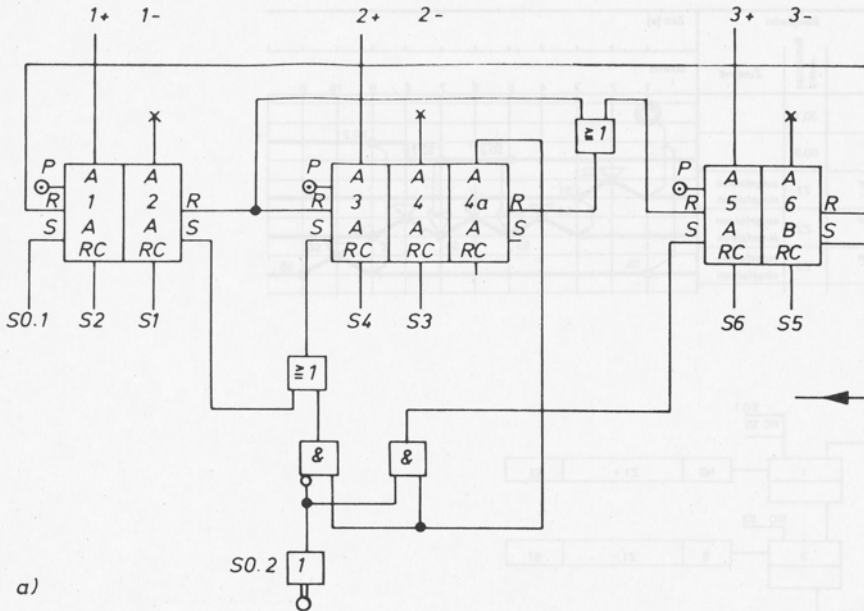


Bild 3.122 Ablaufkette mit Programmsprung rückwärts (Schleife)

a) Ablaufkette mit Bausteinen A und B, b) Ablaufkette mit Bausteinen E, F und G

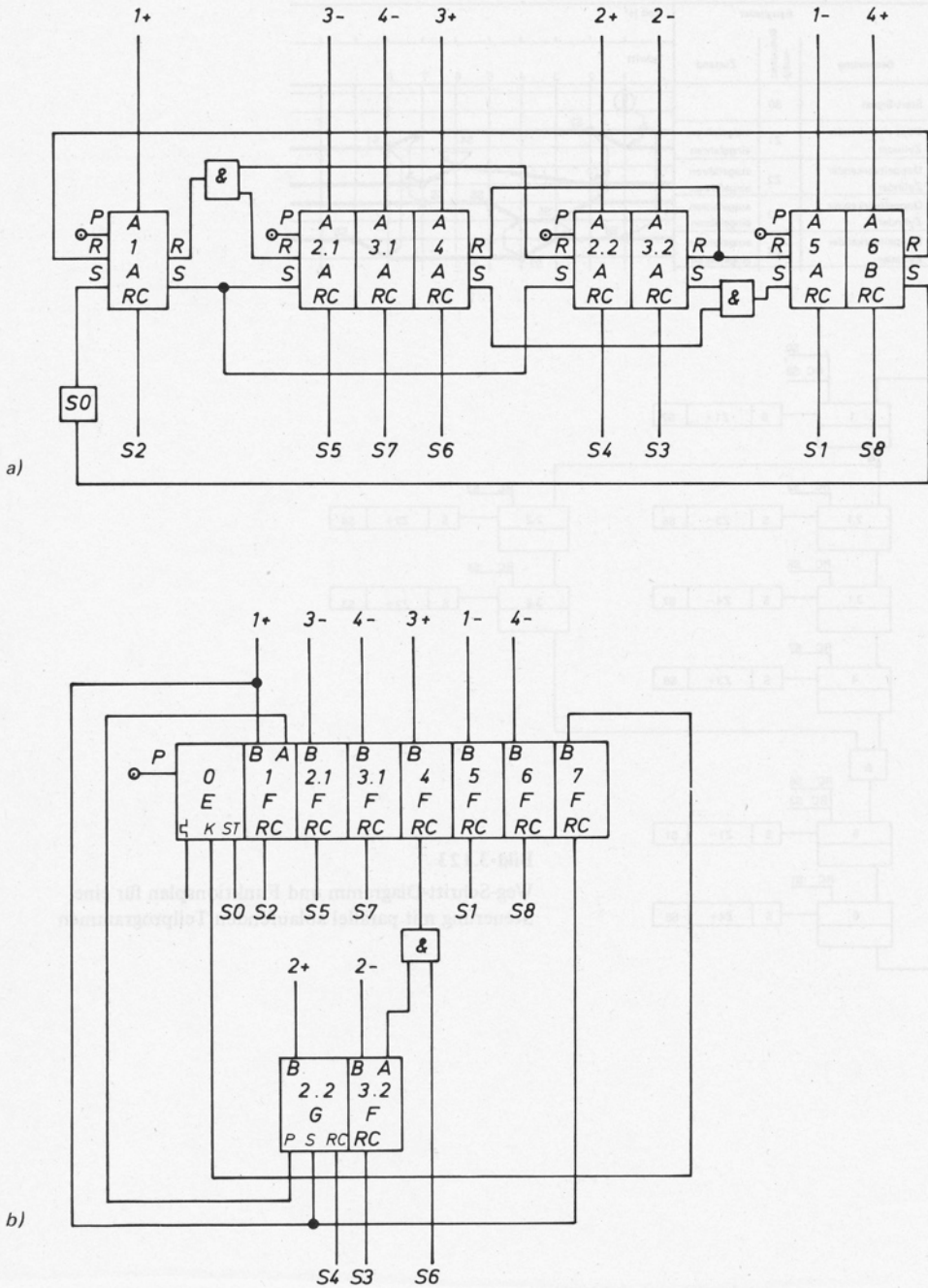


Bild 3.124 Ablaufkette mit parallel ablaufenden Teilprogrammen

a) Ablaufkette mit Bausteinen A und B, b) Ablaufkette mit Bausteinen E, F und G

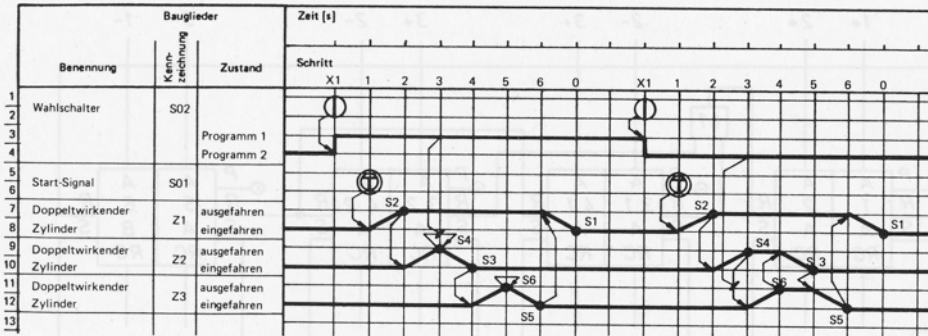


Bild 3.125 Weg-Schritt-Diagramm zur Steuerung mit alternativ Programmen

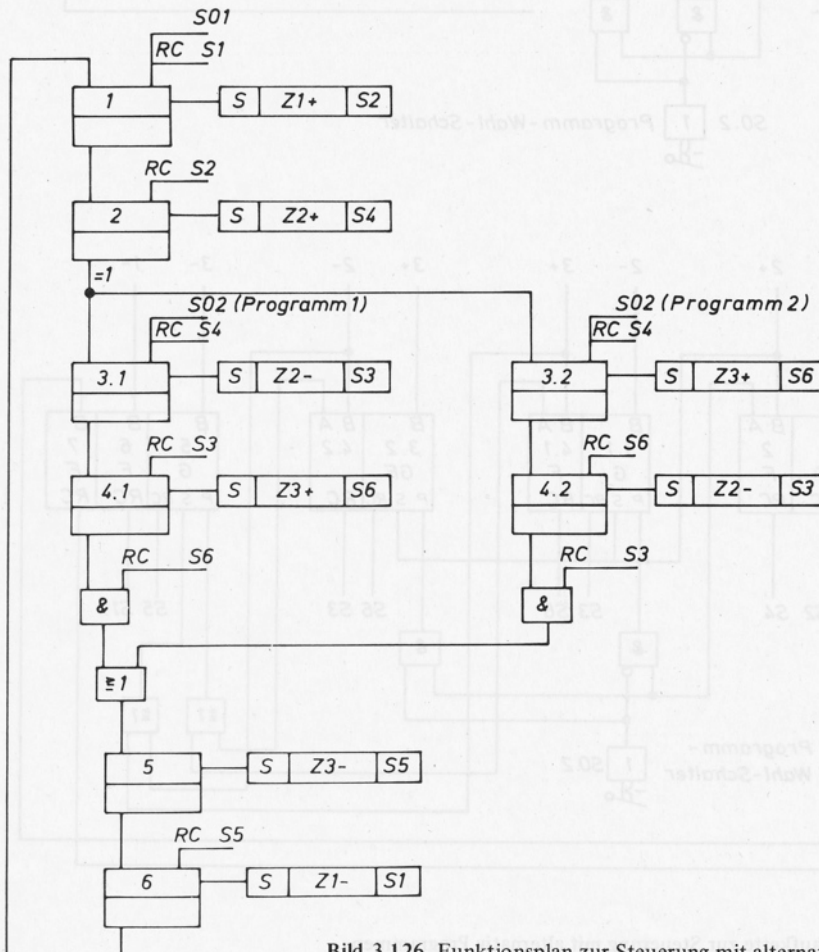


Bild 3.126 Funktionsplan zur Steuerung mit alternativ Programmen

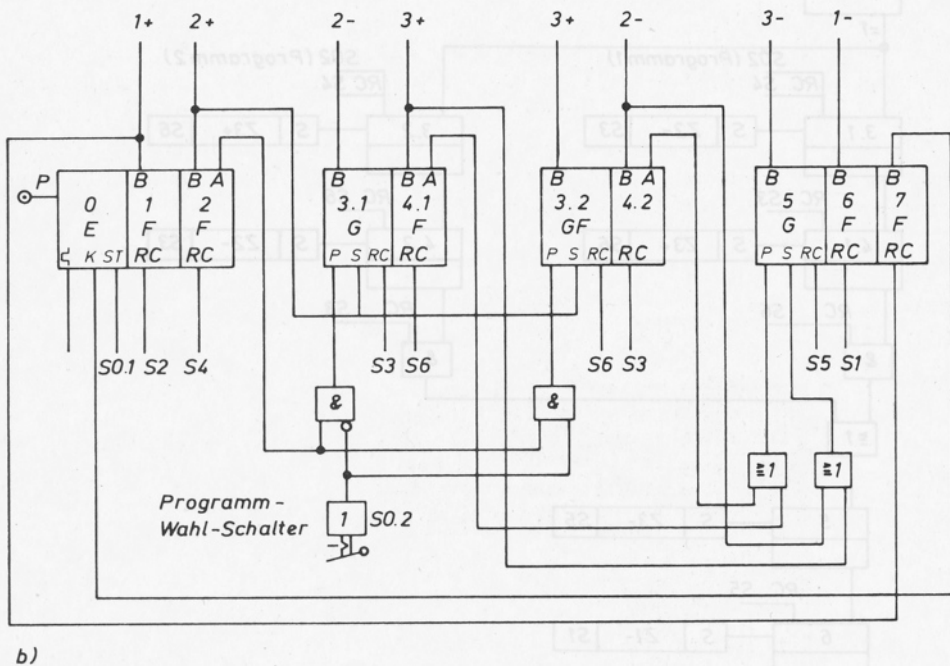
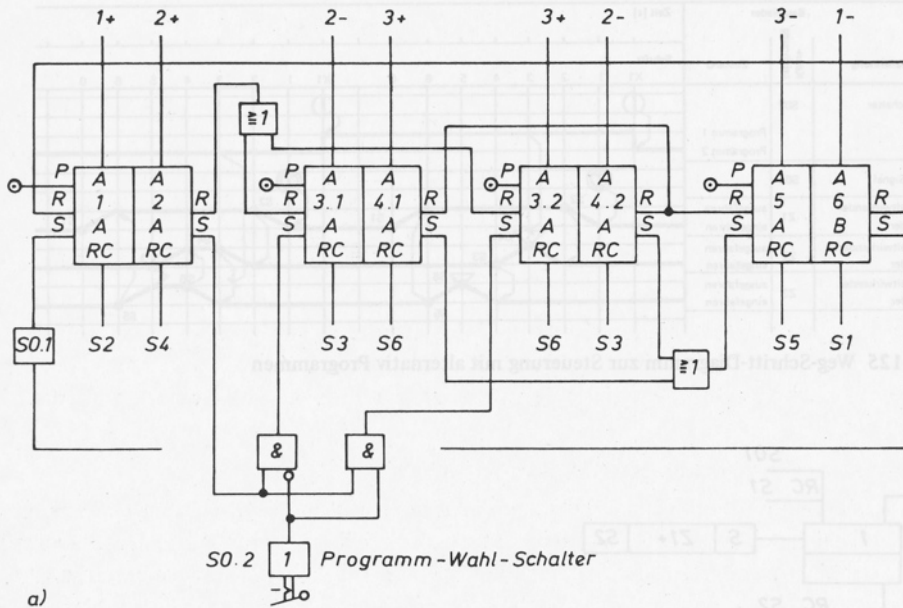


Bild 3.127 Ablaufkette zur Steuerung mit alternativ Programmen

a) Ablaufkette mit Bausteinen A und B, b) Ablaufkette mit Bausteinen E, F und G

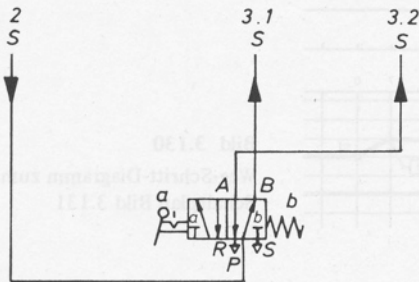


Bild 3.128

Realisierung der Programmvorwahlschaltung zu den Ablaufketten in Bild 3.127

werden sie nach Durchlaufen der einzelnen Teilabschnitte wieder zu einer gemeinsamen Kette zusammengeführt, so können die Ablaufketten wie in Bild 3.124a mit den Bausteinen A und B, und in Bild 3.124b mit den Bausteinen E, F und G dargestellt, aufgebaut werden.

• Alternativ Teilprogramme (ODER-Verzweigung)

Sollen in einer Einrichtung, wie im Weg-Schritt-Diagramm Bild 3.125 und im Funktionsplan Bild 3.126 dargestellt, mehrere Teilprogramme durch einen Wahlschalter einstellbar, durchlaufen werden, so sind die Ablaufketten wie in Bild 3.127 dargestellt aufzubauen. Die Realisierung der Programmvorwahlschaltung durch ein 5/2-Wegeventil ist in Bild 3.128 dargestellt.

3.9.5 Der Bi-Selector

Der Bi-Selector ist ein Schrittschaltwerk mit dem maximal 20 Schritte ausgeführt werden können. Je Schaltschritt stehen ein Hochdrucksignal von $p_e = 3 \dots 5,5$ bar zur Steuerung der Stellglieder und ein Niederdrucksignal von $p_e = 0,8 \dots 1$ bar zur Versorgung der Signalglieder, die als Staudüsen oder als 2/2-Wegeventile arbeiten zur Verfügung. Aufbau und Funktion des Bi-Selectors können an Hand des in Bild 3.129 dargestellten Schnittbildes und des Schaltplanes Bild 3.131 erklärt werden:

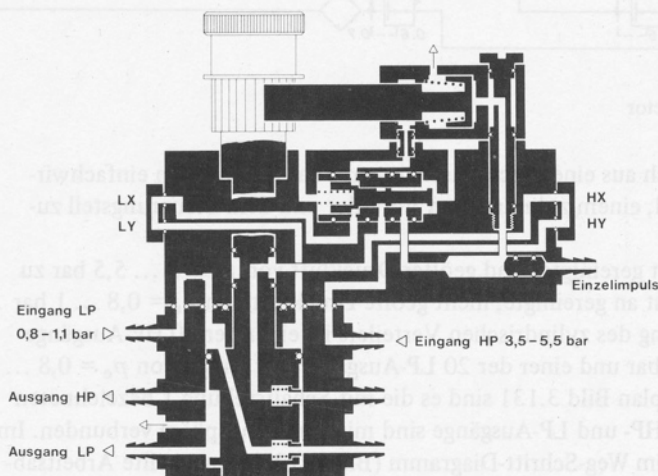


Bild 3.129

Schnittbild eines Bi-Selectors (Martonair)

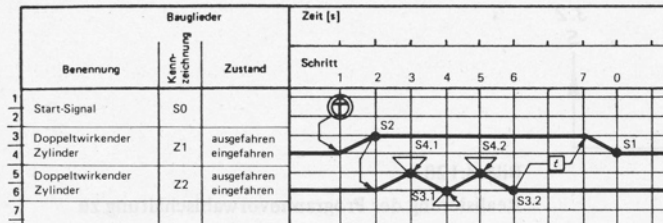


Bild 3.130

Weg-Schritt-Diagramm zum
Schaltplan Bild 3.131

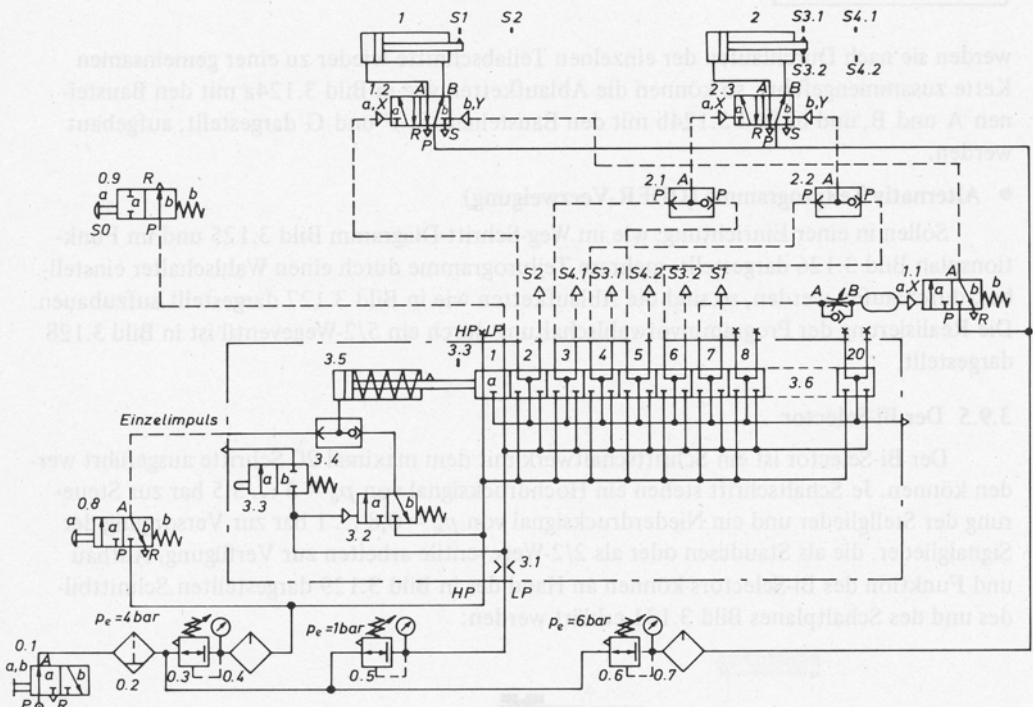


Bild 3.131 Schaltplan für Bi-Selector

Der Bi-Selector setzt sich aus einem Schrittschaltwerk, das durch einen einfachwirkenden Zylinder betätigt wird, einem zylindrischen Verteiler und dem Steuerungsteil zusammen.

Der Anschluß HP ist mit gereinigter und geölter Druckluft von $p_e = 3 \dots 5,5$ bar zu versorgen. Der Anschluß LP ist an gereinigte, nicht geölte Druckluft von $p_e = 0,8 \dots 1$ bar anzuschließen. Je nach Stellung des zylindrischen Verteilers ist einer der 20 HP-Ausgänge mit Druck von $p_e = 3 \dots 5,5$ bar und einer der 20 LP-Ausgänge mit Druck von $p_e = 0,8 \dots 1$ bar beaufschlagt (im Schaltplan Bild 3.131 sind es die mit Schaltstellung 1 bezeichneten Ausgänge). Die restlichen 19 HP- und LP-Ausgänge sind mit der Atmosphäre verbunden. Im Schaltplan Bild 3.131 ist der im Weg-Schritt-Diagramm (Bild 3.130) dargestellte Arbeitsablauf realisiert.

Der Ausgang HP 1 ist am Bi-Selector verschlossen. An den Ausgang LP 1 ist das Startventil Gerät 0.9 angeschlossen. Nach Betätigen des Startventiles baut sich in der Leitung zwischen Drossel 3.1 und Startventil Gerät 0.9 der am Druckregler Gerät 0.5 eingestellte Druck auf, wodurch das Ventil Gerät 3.2 in Schaltstellung a (Durchflußstellung) gebracht wird. Dadurch wird über die Geräte 3.2 und 3.4 der Schrittschaltzylinder Gerät 3.5 mit der Hochdruckleitung (Anschluß HP) verbunden. Der Schrittschaltzylinder fährt aus und schaltet den Verteiler 3.6 eine Station weiter, d.h. die Schaltstellung a liegt an den mit 2 bezeichneten Ausgängen. Der ausgefahrene Schrittschaltzylinder betätigt das Ventil Gerät 3.3, wodurch der Druck am Steueranschluß des Ventiles Gerät 3.2 abfällt und das Gerät 3.2 in Ruhestellung schaltet. Die Bodenseite des Schrittschaltzylinders wird dadurch entlüftet, und die Kolbenstange fährt ein.

Nach dem Schalten des Verteilers sind die mit 2 bezeichneten Steueranschlüsse des Bi-Selectors druckführend. Dadurch wird der Anschluß X des Stellgliedes der Steuerkette 1 Gerät 1.2 mit Druck beaufschlagt, das Stellglied schaltet in Schaltstellung a, und die Kolbenstange des Zylinders 1 fährt aus.

Wird das mit Druck beaufschlagte Signalglied S2, das als Steurdüse entsprechend einer in Bild 3.132 dargestellten Form ausgebildet sein kann, von der Kolbenstange des Zylinders 1 verschlossen, erfolgt ein weiteres Schalten des Verteilers, wie nach der Betätigung des Startventiles beschrieben. Dadurch wird die Schaltstellung a an die mit 3 bezeichneten Ausgänge des Bi-Selectors gebracht. Der weitere Ablauf erfolgt analog der bisher gemachten Ausführung.

Nicht benötigte HP- und LP-Ausgänge sind zu verschließen. Der Schrittschaltzylinder taktet den Verteiler an Stationen mit verschlossenen Ausgängen vorbei, wobei eine Schaltgeschwindigkeit von 1,4 s für eine volle Umdrehung des Verteilers erreicht wird.

Verzögerungen, wie sie im Weg-Schritt-Diagramm Bild 3.130 zwischen Schritt 6 und 7 dargestellt sind, können dadurch realisiert werden, daß der vom HP-Ausgang des Bi-Selectors ausgegebene Impuls, wie in der Steuerung Bild 3.131 dargestellt, durch ein Zeitglied Gerät 1.1 verzögert wird.

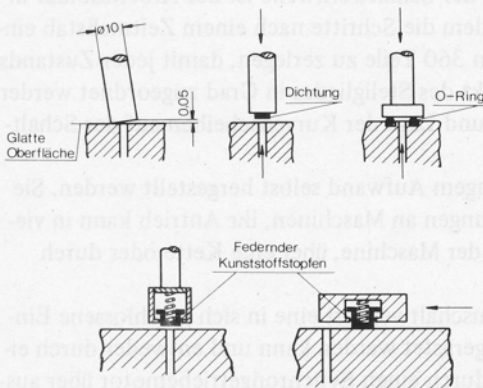


Bild 3.132

Steurdüsen für Bi-Selector (Martonair)

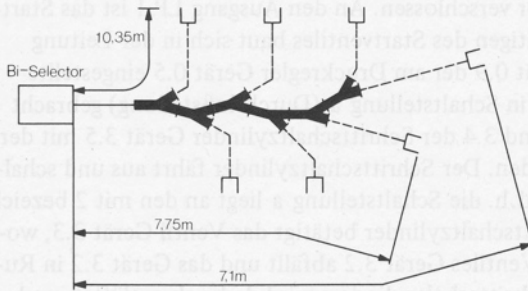


Bild 3.133

Realisierung von UND-Funktionen und maximale Leitungslängen (Martonair)

Die Leitungslänge zwischen Bi-Selector und Steuerdüse darf bei einem Leitungsdurchmesser von 3 mm maximal 12 m betragen. Zur Realisierung von UND-Funktionen können, wie in Bild 3.133 dargestellt, bis zu 7 Steuerdüsen parallel geschaltet werden; dabei ist der Strömungswiderstand in den einzelnen Verzweigungsstücken zu berücksichtigen und die Gesamtleitungslänge dementsprechend zu verringern.

Unabhängig vom automatischen Ablauf kann über den Anschluß "Einzelimpuls" das Schaltwerk durch Betätigen des Gerätes 0.8 weitergeschaltet werden.

Da Aufbau und Funktion des Bi-Selectors nicht verändert werden, gleichgültig welcher Arbeitsablauf realisiert wird, kann der Zeichenaufwand bei der Schaltplanerstellung reduziert werden, wenn an Stelle des ausführlich dargestellten Bi-Selectors nur ein leeres Feld mit den für die Verschlauchung notwendigen Leitungsanschlüssen gezeichnet wird.

3.9.6 Das Programmschaltwerk

3.9.6.1 Allgemeines

Mit Programmschaltwerken können zeitgeführte Ablaufsteuerungen aufgebaut werden. Die auf einer Welle aufgebauten Kurvenscheiben (Schaltwalze) betätigen die Signalglieder (oder direkt die Stellglieder) nach einem festgelegten Zeitplan, der von einer Bedienungsperson beeinflusst, oder automatisch, motorgetrieben, ablaufen kann. Zum Bestimmen der Kurvenscheiben-Form und -Lage auf der Schaltwerkswelle ist der Arbeitsablauf in einem Weg-Schritt-Diagramm festzulegen, in dem die Schritte nach einem Zeitmaßstab eingetragen sind. Der gesamte Arbeitsablauf ist in 360 Teile zu zerlegen, damit jeder Zustandsänderung eines Antriebsgliedes der Schaltpunkt des Stellgliedes in Grad zugeordnet werden kann. Nach dieser Festlegung kann die Form und Lage der Kurvenscheiben auf der Schaltwerkswelle bestimmt werden.

Programmschaltwerke können mit geringem Aufwand selbst hergestellt werden. Sie eignen sich zur Steuerung von Zusatzeinrichtungen an Maschinen, ihr Antrieb kann in vielen Fällen von einer langsam laufenden Welle der Maschine, über eine Kette oder durch Zahnräder abgenommen werden.

Das in Bild 3.134 dargestellte Programmschaltwerk ist eine in sich geschlossene Einheit, die mit maximal 20 Kurvenscheiben ausgerüstet werden kann und entweder durch einen vom Anwender zu erstellenden Antrieb, durch einen Synchrongetriebemotor über austauschbare Wechsellräder oder durch einen stufenlos regelbaren Getriebemotor angetrieben wird. Mit diesen Antriebsarten lassen sich Schaltwellen-Drehzahlen zwischen 1 u/min und 75 u/min einstellen.

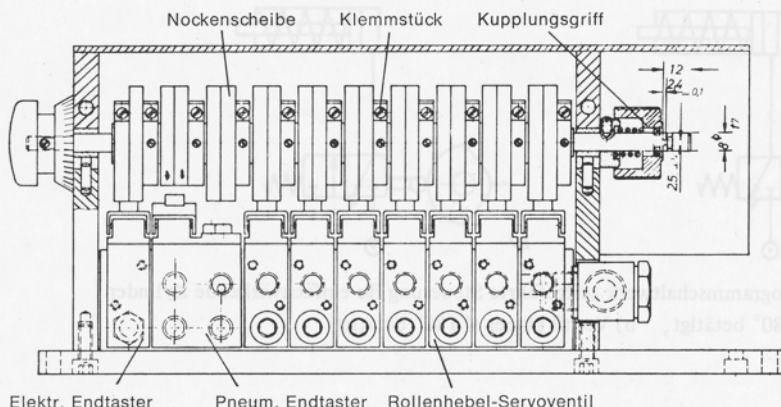


Bild 3.134 Programmschaltwerk (Festo)

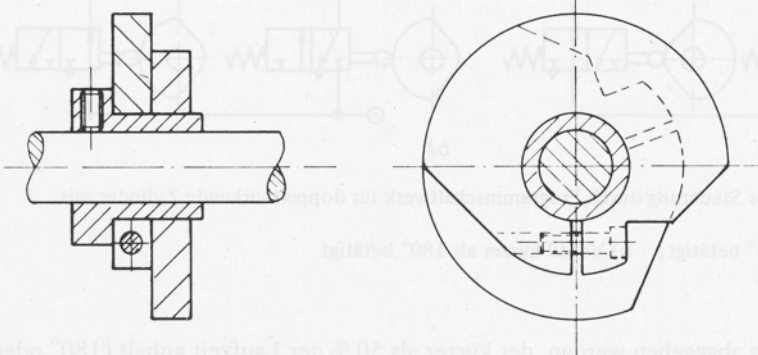


Bild 3.135 Stufenlos einstellbare Kurvenscheibe

Durch eine Kupplung kann der Antriebsmotor von der Schaltwerkswelle getrennt werden, so daß jeder Schritt der Steuerung von Hand eingestellt werden kann.

Die Kurvenscheiben dieses Schaltwerkes können sehr rasch und einfach eingestellt werden. Aus Bild 3.135 ist die Form und die Befestigung der Kurvenscheiben auf der Schaltwerkswelle zu ersehen.

Zwei gleiche Kurvenscheiben sind auf einem Träger gegeneinander verdrehbar angeordnet und können in jeder Stellung festgeklammert werden. Der Kurvenscheibenträger kann auf der Schaltwerkswelle in jeder Lage festgeklammert werden, so daß die Schritte jedes Arbeitsablaufes stufenlos eingestellt werden können.

Soll von einem Ventil des Programmschaltwerkes ein Druckluftimpuls abgegeben werden, der 50 % oder mehr (180° oder mehr) der Laufzeit anhält, so ist ein 3/2-Wegeventil mit Sperr-Ruhe-Stellung nach Bild 3.136a einzubauen. Die Impulszeit wird vom Höcker der Kurvenscheibe bestimmt.

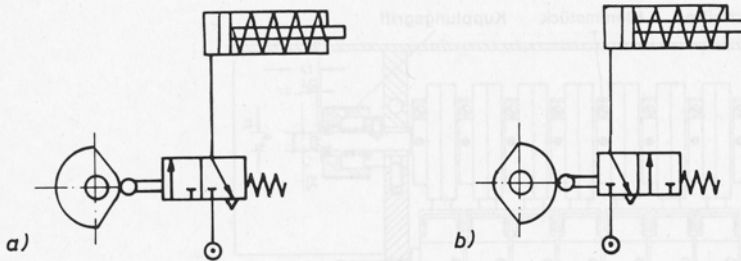


Bild 3.136 Durch Programmschaltwerk zeitgeführte Steuerung für einfachwirkende Zylinder
a) Ventil länger als 180° betätigt, b) Ventil kürzer als 180° betätigt

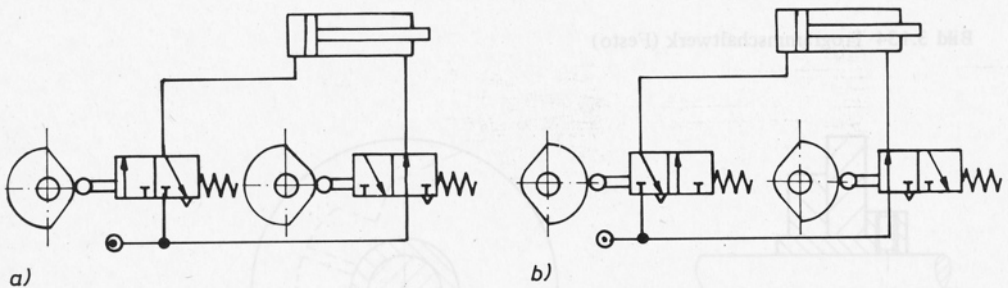


Bild 3.137 Zeitgeführte Steuerung durch Programmschaltwerk für doppeltwirkende Zylinder mit zwei 3/2-Wegeventilen
a) Ventil länger als 180° betätigt, b) Ventil kürzer als 180° betätigt

Soll ein Impuls abgegeben werden, der kürzer als 50 % der Laufzeit anhält (180° oder weniger), so ist ein 3/2-Wegeventil mit Durchfluß-Ruhe-Stellung nach Bild 3.136b einzubauen. Die Impulszeit wird in diesem Fall von der Kerbe der Kurvenscheibe bestimmt.

Einfachwirkende Zylinder bis 50 mm Durchmesser können durch die im Schaltwerk eingebauten Ventile direkt gesteuert werden, bei größeren Zylindern ist, um ausreichende Kolbenstangengeschwindigkeiten zu erreichen, ein dem Zylinder entsprechendes Stellglied einzubauen. Doppeltwirkende Zylinder können, wenn der Durchmesser nicht größer als 50 mm ist, durch ein 3/2-Wegeventil mit Sperr-Ruhe-Stellung und ein 3/2-Wegeventil mit Durchfluß-Ruhe-Stellung gesteuert werden (Bild 3.137a, b). Größere doppeltwirkende Zylinder steuert man durch ein druckluftbetätigtes 4/2-Wegeventil als Stellglied, das Ventil im Programmschaltwerk dient dann als Signalglied. Siehe Bild 3.138a, b.

3.9.6.2 Aufbau einer Steuerung nach einem gegebenen Arbeitsablauf mit Hilfe eines Programmschaltwerkes

Der im Weg-Schritt-Diagramm Bild 3.139 dargestellte Arbeitsablauf soll durch ein Programmschaltwerk gesteuert werden. Die Schritte im Weg-Schritt-Diagramm sind nach einem Zeitmaßstab aufgetragen.

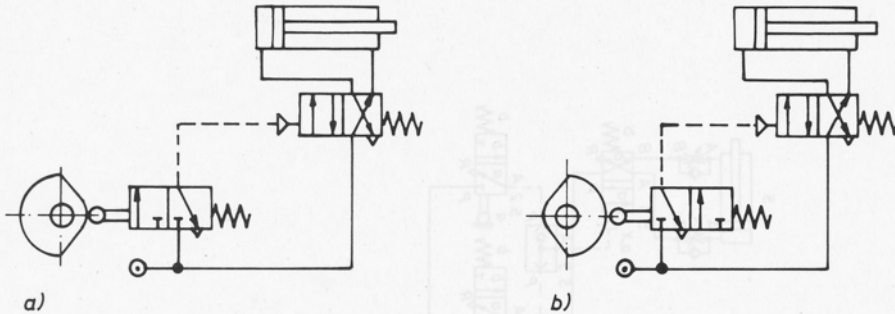


Bild 3.138 Zeitgeführte Steuerung durch Programmschaltwerk für doppeltwirkende Zylinder mit einem 3/2-Wegeventil und einem 4/2-Wegeventil

a) Ventil länger als 180° betätigt, b) Ventil kürzer als 180° betätigt

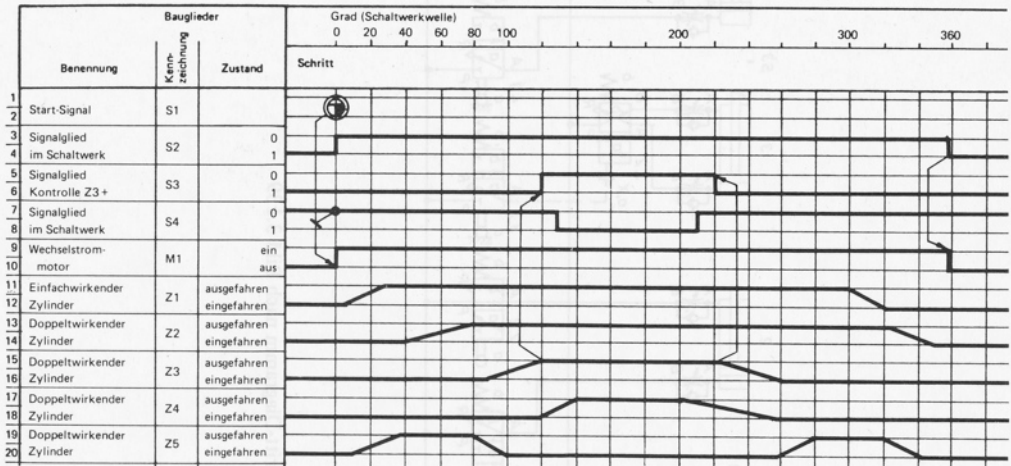


Bild 3.139 Weg-Schritt-Diagramm zum Aufbau einer zeitgeführten Ablaufsteuerung mit einem Programmschaltwerk

Die Strecke, die dem Arbeitsablauf entspricht, ist in 360 Teile geteilt; d.h. jeder Schritt kann in Winkelgrad auf die Schaltwerkswelle übertragen werden.

Die Zeit für den Arbeitsablauf soll eine Minute betragen; d.h. da auf dem Umfang der Schaltwerkswelle das Programm einmal aufgebracht werden kann, muß die Drehzahl der Welle 1 U/min sein.

Die Kolbenstange des Zylinders 4 darf nur ausfahren, wenn die Kolbenstange des Zylinders 3 ganz ausgefahren ist. Die vorderste Kolbenstangenstellung des Zylinders 3 kann mit einem Endtaster kontrolliert werden.

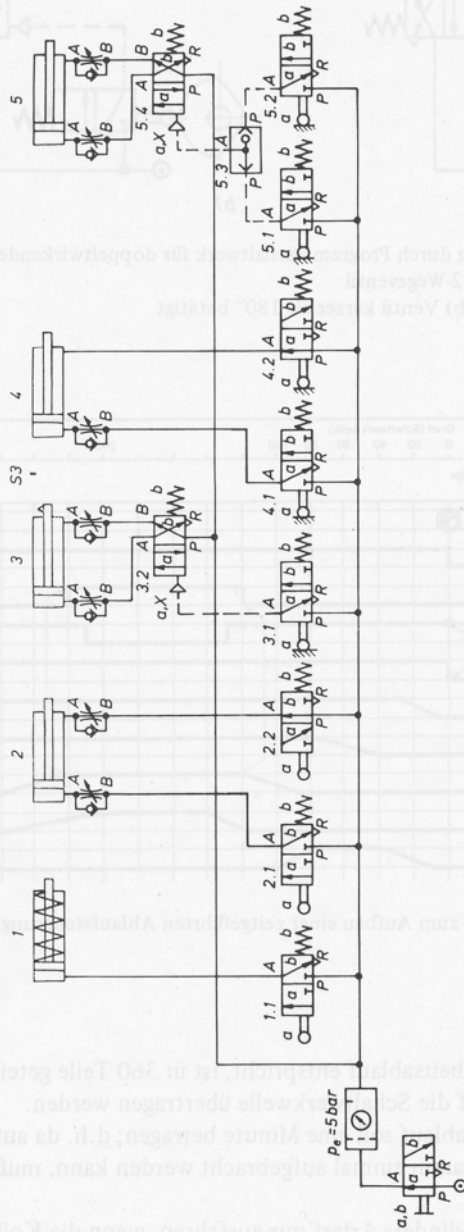


Bild 3.140 Schaltplan zum Weg-Schritt-Diagramm nach Bild 3.139

Der Aufbau der Steuerkette, die Wahl der Kurvenscheiben (Höcker oder Kerbe) und die damit verbundene Wahl des Signal- und Stellgliedes ist wie folgt auszuführen (Bild 3.140):

Die Sinnbilder der Antriebsglieder sind nebeneinander nach Steuerketten geordnet zu zeichnen. Aus dem Weg-Schritt-Diagramm Bild 3.139 ist zu entnehmen, wie lange das Antriebsglied ausgefahren oder eingefahren bleiben muß, danach ist das Signalglied entsprechend den Bildern 3.136 und 3.137 zu wählen.

Steuerkette 1 – Einfachwirkender Zylinder 25 mm Durchmesser

Die Kolbenstange ist länger als 180° ausgefahren, die Steuerkette also nach Bild 3.136a aufzubauen.

Steuerkette 2 – Doppeltwirkender Zylinder 35 mm Durchmesser

Die Kolbenstange ist länger als 180° ausgefahren, der Aufbau der Steuerkette ist nach Bild 3.137a vorzunehmen.

Steuerkette 3 – Doppeltwirkender Zylinder 100 mm Durchmesser

Die Kolbenstange ist kürzer als 180° ausgefahren, die Steuerkette ist nach Bild 3.138b auszuführen.

Die Kolbenstange betätigt, wenn sie ausgefahren ist, den Endtaster S1.

Steuerkette 4 – Doppeltwirkender Zylinder 35 mm Durchmesser

Die Kolbenstange ist kürzer als 180° ausgefahren, die Steuerkette ist nach Bild 3.137b auszuführen.

Steuerkette 5 – Doppeltwirkender Zylinder 80 mm Durchmesser

Die Kolbenstange muß während eines Arbeitsablaufes zweimal kürzer als 180° ausgefahren sein. Der Aufbau der Steuerkette ist daher nach Bild 3.138b vorzunehmen.

Auf Grund der Konstruktion der Kurvenscheiben kann, mit einer Scheibe und damit mit einem Signalglied, während einer Schaltwerkwellenumdrehung nur ein Signal abgegeben werden. Die Kolbenstange soll aber während eines Arbeitsablaufes zweimal ausgefahren werden, es müssen also zwei Kurvenscheiben eingestellt werden und die Signale der beiden Signalglieder werden über ein Wechselventil zum Anschluß X des Stellgliedes geführt.

Die Forderung, daß die Kolbenstange des Zylinders 4 nur dann ausfahren kann, wenn die Kolbenstange des Zylinders 3 ganz ausgefahren ist, kann durch den Einbau eines elektrischen Endtasters S4 in das Programmschaltwerk erfüllt werden.

Wird der Endtaster S3 nicht vor dem Öffnen des Endtasters S4 betätigt, so wird der Antriebsmotor des Programmschaltwerkes ausgeschaltet.

Aus dem Weg-Schritt-Diagramm ist zu ersehen, daß der elektrische Endtaster S4 weniger als 180° aktiv sein muß (in diesem Fall geöffnet). An der Kurvenscheibe ist daher die Kerbe entsprechend den vorausgegangenen Erklärungen als aktiver Zeitabschnitt einzustellen.

Der Schaltplan nach Bild 3.141 zeigt die elektrische Steuerung zu diesem Beispiel.

Mit Hilfe einer Einstellvorrichtung können nun die einzelnen Kurvenscheiben eingestellt und ihre Lage auf der Schaltwelle bestimmt werden. Beim Einstellen der Schaltwinkel ist darauf zu achten, daß der Schaltpunkt des Ventiles nicht dem Punkt entspricht, an dem der Kurvenscheibendurchmesser D in den Steigungswinkel β übergeht. Wie in Bild 3.142 dargestellt, liegt der Schaltpunkt gegen den meßbaren Punkt an der Kurvenscheibe derart

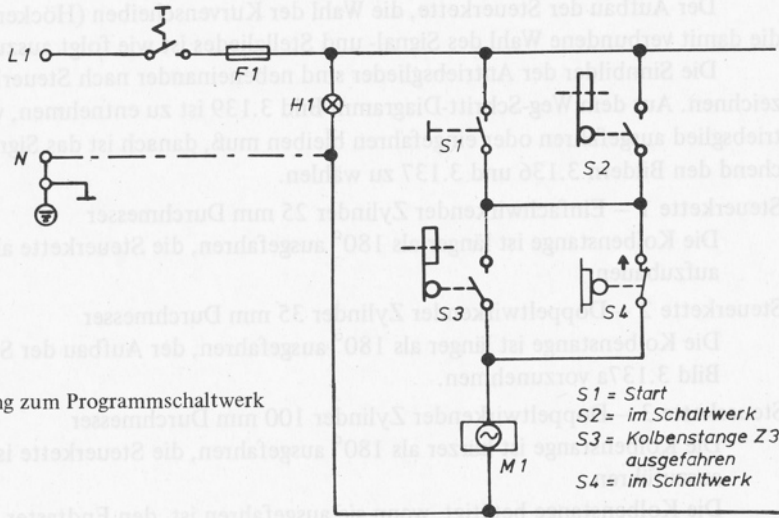


Bild 3.141

Elektrische Steuerung zum Programmschaltwerk

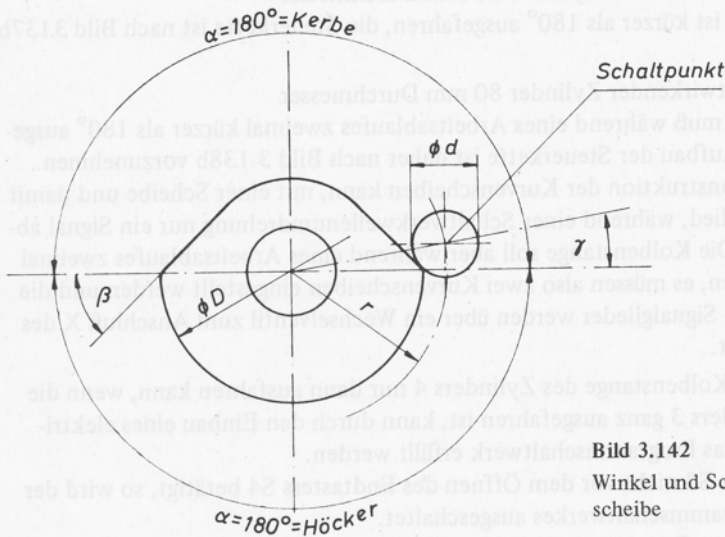


Bild 3.142

Winkel und Schaltpunkte an der Kurvenscheibe

versetzt, daß sich der Höcker um den Winkel γ vergrößert, wogegen sich die Kerbe um den Winkel γ verkleinert. D.h. soll ein Signalglied von einem Höcker laut Weg-Schritt-Diagramm 290° betätigt bleiben und der Winkel γ wurde mit 10° berechnet, so ist der meßbare Winkel α an der Kurvenscheibe mit 270° einzustellen. Soll ein Ventil 90° nicht betätigt sein, so ist die Kerbe mit 110° einzustellen.

Der Winkel γ wird vom Rollendurchmesser d des Ventiles, vom Steigungswinkel β an der Kurvenscheibe und vom Abstand des Schaltpunktes von der Mitte der Schaltwerkswelle R bestimmt.

3.9.7 Impulswandler und Signalglieder mit Leer-Rücklauf-Tastrolle

Die Schwierigkeit, daß Signalglieder während des Arbeitsablaufes über mehrere Schritte betätigt bleiben und dadurch das Umschalten der Speicher (Stellglieder) unmöglich machen, kann durch den Einsatz von Signalgliedern mit Leer-Rücklauf-Tastrolle oder durch Impulswandler umgangen werden. Der Einsatz dieser Geräte ist jedoch nur bedingt möglich. Sind Impulswandler Signalgliedern nachgeschaltet, die in der Ausgangsstellung betätigt sind, werden beim Einschalten der Druckluft bei Arbeitsbeginn oder nach Störungen Fehlschaltungen hervorgerufen. Signalglieder mit Betätigung durch Tastrolle mit Leer-Rücklauf haben den Vorteil, daß sie nur dann ein Signal abgeben, wenn das Betätigungselement in einer Richtung angefahren wird, d.h. nur die einfahrende oder nur die ausfahrende Kolbenstange löst ein Signal aus. Die Betätigungsrichtung wird durch einen Pfeil am Markierungsstrich, der die Lage des Signalgliedes zum Antriebsglied bestimmt, gekennzeichnet. Soll das Signal eine bestimmte Weg-Strecke vor Hubende abgegeben werden, so kann dies durch eine Maßangabe gekennzeichnet werden. Nachteilig beim Einsatz dieser Signalglieder ist, daß Hubendlagen nicht kontrolliert sind und daß bei sehr schnellen Kolbenstangenbewegungen und langen Signalleitungen die Betätigungszeit so kurz ist, daß das abgegebene Signal die nachgeschalteten Geräte nicht betätigt.

Für die Bewegungsfolge $Z1 +, Z2 +, Z2 -, Z1 -$ ist in Bild 3.143 der Geräteplan mit Impulswandler und im Bild 3.144 der Geräteplan für Signalglieder mit Leer-Rücklauf-Tastrolle dargestellt.

3.9.8 Einzelschaltung – Automatik

Zum Einrichten oder bei Störungen ist es notwendig, die einzelnen Funktionen eines Arbeitsablaufes nacheinander, dem Arbeitsablauf entsprechend oder in beliebiger Reihen-

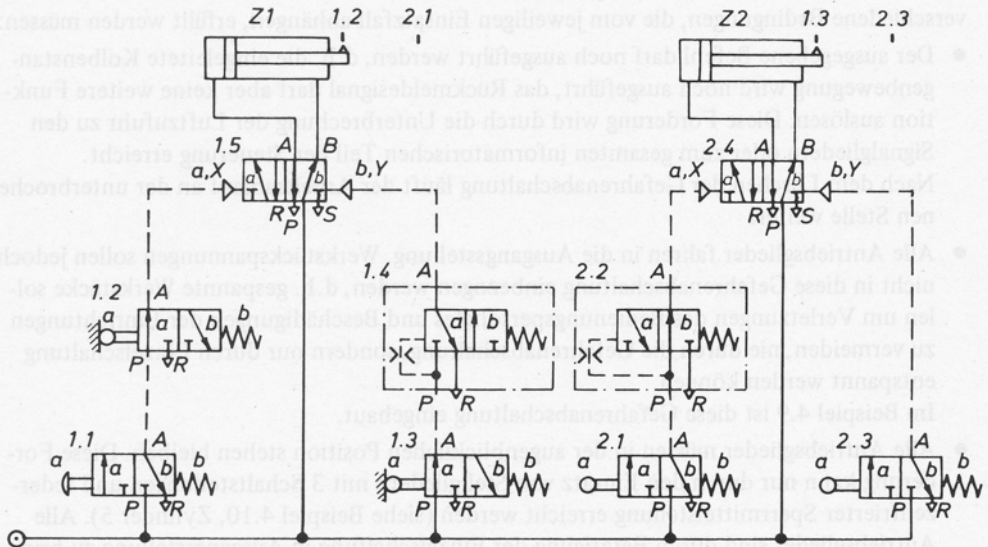


Bild 3.143 Geräteplan für die Bewegungsfolge $Z1 +, Z2 +, Z2 -, Z1 -$ mit Impulswandler

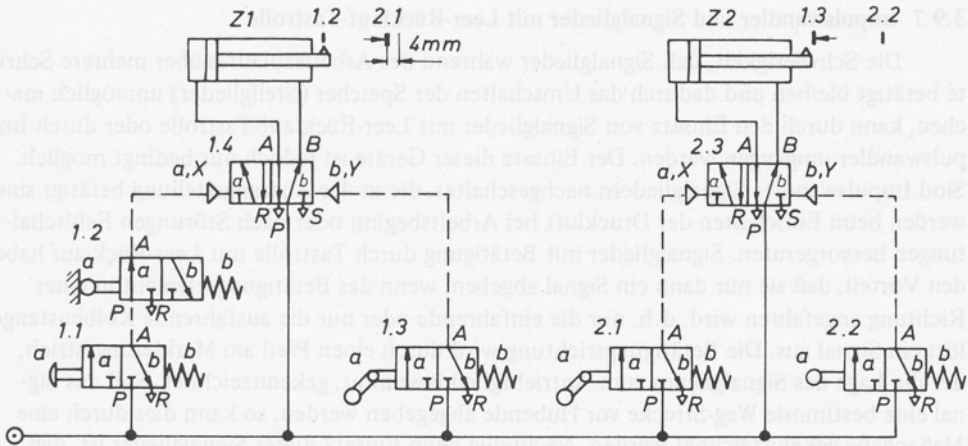


Bild 3.144 Geräteplan für die Bewegungsfolge Z1 +, Z2 +, Z2 -, Z1 - für die Signalglieder mit Leer-Rücklauf-Rolle

folge auslösen zu können. Diese Betriebsart kann durch den Einbau eines Wahlschalters, der abwechselnd die Signalglieder des automatischen Ablaufes und die Signalglieder für die Einzelschaltung mit Druckluft versorgt, erreicht werden. Die Signalleitungen von den Signalgliedern der Einzelschaltung sind über Doppelryckschlagventile mit den Anschlüssen Z und Y der jeweiligen Stellglieder zu verbinden (siehe Beispiele 4.9 und 4.10).

3.9.9 Gefahrenabschaltung

Mit der Gefahrenabschaltung kann ein Arbeitsablauf unterbrochen werden, wobei verschiedene Bedingungen, die vom jeweiligen Einsatzfall abhängen, erfüllt werden müssen:

- Der ausgegebene Befehl darf noch ausgeführt werden, d.h. die eingeleitete Kolbenstangenbewegung wird noch ausgeführt, das Rückmeldesignal darf aber keine weitere Funktion auslösen. Diese Forderung wird durch die Unterbrechung der Luftzufuhr zu den Signalgliedern oder zum gesamten informatorischen Teil der Steuerung erreicht. Nach dem Löschen der Gefahrenabschaltung läuft der Arbeitsablauf an der unterbrochenen Stelle weiter.
- Alle Antriebsglieder fahren in die Ausgangsstellung. Werkstückspannungen sollen jedoch nicht in diese Gefahrenabschaltung einbezogen werden, d.h. gespannte Werkstücke sollen um Verletzungen des Bedienungspersonales und Beschädigungen der Einrichtungen zu vermeiden, nie durch die Gefahrenabschaltung, sondern nur durch Einzelschaltung entspannt werden können.
Im Beispiel 4.9 ist diese Gefahrenabschaltung eingebaut.
- Alle Antriebsglieder müssen in der augenblicklichen Position stehen bleiben. Diese Forderung kann nur durch den Einsatz von Stellgliedern mit 3 Schaltstellungen und federzentrierter Sperrmittelstellung erreicht werden (siehe Beispiel 4.10, Zylinder 5). Alle Antriebsglieder sind durch Betätigung der Einzelschaltung in Ausgangsstellung zu bringen, erst dann kann durch ein Richt- und Startsignal ein neuer Arbeitsablauf eingeleitet werden.

4 Beispiele

Beispiel 4.1 Druckänderung bei Temperaturzunahme

Eine 50-Liter-Druckluft-Flasche ist in einem Raum mit $t_1 = +10\text{ °C}$ gelagert. Der Druckmesser an der Druckluft-Flasche zeigt $p_{e1} = 100\text{ bar}$. Wie hoch steigt der Druck in der Flasche, wenn sie auf $t_2 = +45\text{ °C}$ erwärmt wird.

Aus der Zustandsgleichung der Gase

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

kann mit den gegebenen Werten:

$$p_{e1} = 100\text{ bar} \quad p_{abs1} = 101\text{ bar}$$

$$T_1 = +10\text{ K} + 273\text{ K} = 283\text{ K}$$

$$T_2 = +45\text{ K} + 273\text{ K} = 318\text{ K}$$

$$V_1 = V_2 = \text{konstant}$$

aus der gekürzten Zustandsgleichung

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

der Druck p_2 berechnet werden

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot T_2}{T_1} \quad \frac{\text{bar} \cdot \text{K}}{\text{K}}$$

$$p_2 = \frac{101 \cdot 318}{283}$$

$$p_2 = 113,49\text{ bar.}$$

Der Druckmesser an der Druckluft-Flasche zeigt nach der Erwärmung auf $t_2 = +45\text{ °C}$ einen Druck von $p_e = 112,5\text{ bar}$ an.

Beispiel 4.2 Berechnung von Wassergehalt und Kondenswasser

• Allgemeine Angaben

Ein Verdichter mit einem Volumenstrom $q_v = 8\text{ m}^3/\text{min}$ (Normzustand) erzeugt Druckluft von $p_e = 7\text{ bar}$.

Die vom Verdichter angesaugte Luft wird gemessen mit:

$$p_{abs} = 1\text{ bar}; t_1 = +15\text{ °C}; \varphi = 55\%$$

Im Nachkühler wird die Druckluft auf $t_2 = +25\text{ °C}$ abgekühlt. In einem Druckluftbehälter sinkt die Temperatur auf $t_3 = +20\text{ °C}$ und in einem nachgeschalteten Kältetrockner wird die Druckluft auf eine Temperatur von $t_4 = +5\text{ °C}$ abgekühlt.

In den folgenden Berechnungen wird das Volumen der Druckluft, der Wassergehalt der Druckluft und die Menge des Kondenswassers in den Abscheidegeräten ermittelt.

• **Volumen der Druckluft im Nachkühler**

Zustand der angesaugten Luft

$$p_{\text{abs},1} = 1 \text{ bar}$$

$$T_1 = +15 \text{ K} + 273 \text{ K} = 288 \text{ K}$$

$$V_1 = 8 \text{ m}^3/\text{min} = 480 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2}$$

$$V_2 = \frac{1 \cdot 480 \cdot 298}{288 \cdot 8}$$

$$V_2 = 62,083 \text{ m}^3/\text{h} \quad (p_{\text{e},2} = 7 \text{ bar}; t_2 = +25 \text{ }^\circ\text{C})$$

Zustand der Druckluft

$$p_{\text{abs},2} = 8 \text{ bar}$$

$$T_2 = +25 \text{ K} + 273 \text{ K} = 298 \text{ K}$$

$$\frac{\text{bar} \cdot \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{K}}{\text{K} \cdot \text{bar}}$$

• **Wassergehalt der angesaugten Luft**

$$V_1 = 480 \text{ m}^3/\text{h}; t_1 = +15 \text{ }^\circ\text{C}, \varphi_1 = 55 \%$$

Bei $t_1 = +15 \text{ }^\circ\text{C}$ Lufttemperatur ist nach Tabelle 1.3 der maximale Wassergehalt der Luft $\mathcal{F}_{+15} = 12,8 \text{ g/m}^3$.

Daraus errechnet sich die mit der atmosphärischen Luft angesaugte Wassermenge ℓ_1 :

$$\ell_1 = V_1 \cdot \mathcal{F}_{+15} \cdot \frac{\varphi_1}{100}$$

$$\ell_1 = 480 \cdot 12,8 \cdot \frac{55}{100} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$\ell_1 = 3379,2 \text{ g/h}$$

$$\ell_1 = 3,38 \text{ l/h}$$

• **Maximaler Wassergehalt der Druckluft nach dem Nachkühler**

$$V_2 = 62,1 \text{ m}^3/\text{h} \quad (p_{\text{e},2} = 7 \text{ bar}; t_2 = +25 \text{ }^\circ\text{C})$$

Bei $t_2 = +25 \text{ }^\circ\text{C}$ Lufttemperatur ist nach Tabelle 1.3 der maximale Wassergehalt der Luft $\mathcal{F}_{+25} = 23 \text{ g/m}^3$.

Daraus errechnet sich der maximale Wassergehalt $\mathcal{F}_2$ der Druckluft nach dem Nachkühler:

$$\mathcal{F}_2 = V_2 \cdot \mathcal{F}_{+25}$$

$$\mathcal{F}_2 = 62,1 \cdot 23$$

$$\mathcal{F}_2 = 1428,3 \text{ g/h}$$

$$\mathcal{F}_2 = 1,43 \text{ l/h}$$

$$\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

• **Kondenswasser im Nachkühler**

Aus der Atmosphäre angesaugte Wassermenge

$$\ell_1 = 3,38 \text{ l/h}$$

Maximale Wasseraufnahme der Druckluft nach dem Nachkühler

$$\mathcal{F}_2 = 1,43 \text{ l/h}$$

Kondenswasser im Nachkühler = $\ell_1 - \mathcal{F}_2 = 3,38 - 1,43 = 1,95 \text{ l/h}$

- **Volumenänderung und maximale Wasseraufnahme der Druckluft im Druckluftbehälter**

Durch die Abkühlung auf $t_3 = +20^\circ\text{C}$ ändert sich das Volumen der Druckluft:

$$V_3 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_1}{T_1 \cdot p_3}$$

$$V_3 = \frac{1 \cdot 480 \cdot 293}{288 \cdot 8} \quad \frac{\text{bar} \cdot \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{K}}{\text{K} \cdot \text{bar}}$$

$$V_3 = 61,04 \text{ m}^3/\text{h} \quad (p_{e,3} = 7 \text{ bar}; t_3 = +20^\circ\text{C})$$

Bei $t_3 = +20^\circ\text{C}$ Lufttemperatur ist nach Tabelle 1.3 der maximale Wassergehalt der Luft $\mathcal{F}_{+20} = 17,3 \text{ g/m}^3$.

Daraus errechnet sich der maximale Wassergehalt $\mathcal{F}_3$ der Druckluft im Druckluftbehälter:

$$\mathcal{F}_3 = V_3 \cdot \mathcal{F}_{+20}$$

$$\mathcal{F}_3 = 61 \cdot 17,3$$

$$\mathcal{F}_3 = 1055,3 \text{ g/m}^3$$

$$\mathcal{F}_3 = 1,06 \text{ l/h}$$

$$\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

- **Kondenswasser im Druckluftbehälter**

Wassergehalt der Druckluft nach dem Nachkühler

$$\mathcal{F}_2 = 1,43 \text{ l/h}$$

Maximale Wasseraufnahme der Druckluft im Druckluftbehälter $\mathcal{F}_3 = 1,06 \text{ l/h}$

Kondenswasser im Druckluftbehälter = $\mathcal{F}_2 - \mathcal{F}_3 = 1,43 - 1,06 = 0,37 \text{ l/h}$

Wird die Druckluft aus dem Druckluftbehälter direkt in das Leitungssystem (zum Verbraucher) geleitet, so wird, wenn die Temperatur unter $t = +20^\circ\text{C}$ sinkt, Kondenswasser ausfallen. Durch den Einsatz von Drucklufttrocknern ist eine weitere Taupunktabsenkung möglich.

- **Volumenänderung und maximale Wasseraufnahme der Druckluft im Kältetrockner**

Durch die Abkühlung der Druckluft im Kältetrockner auf $t_4 = +5^\circ\text{C}$ ändert sich das Volumen in:

$$V_4 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_1}{T_1 \cdot p_4}$$

$$V_4 = \frac{1 \cdot 480 \cdot 278}{288 \cdot 8} \quad \frac{\text{bar} \cdot \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{K}}{\text{K} \cdot \text{bar}}$$

$$V_4 = 57,92 \text{ m}^3/\text{h} \quad (p_{e,4} = 7 \text{ bar}; t_4 = +5^\circ\text{C})$$

Bei $t_4 = +5^\circ\text{C}$ ist nach Tabelle 1.3 der maximale Wassergehalt der Luft $\mathcal{F}_{+5} = 6,8 \text{ g/m}^3$.

Der maximale Wassergehalt $\mathcal{F}_4$ der Druckluft im Kältetrockner berechnet sich:

$$\mathcal{F}_4 = V_4 \cdot \mathcal{F}_5$$

$$\mathcal{F}_4 = 58 \cdot 6,8$$

$$\mathcal{F}_4 = 394 \text{ g/h}$$

$$\mathcal{F}_4 = 0,39 \text{ l/h}$$

$$\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

• Kondenswasser im Kältetrockner

Wassergehalt der Druckluft nach dem Druckluftbehälter $\mathcal{F}_3 = 1,06 \text{ l/h}$

Maximale Wasseraufnahme der Druckluft im Kältetrockner $\mathcal{F}_4 = 0,39 \text{ l/h}$

Kondenswasser im Kältetrockner $= \mathcal{F}_3 - \mathcal{F}_4 = 1,06 - 0,39 = 0,67 \text{ l/h}$

• Drucktaupunkt und atmosphärischer Taupunkt

Die aus dem Kältetrockner austretende Druckluft wird auf $t_5 = +20^\circ\text{C}$ erwärmt, dadurch ändert sich das Volumen der Druckluft in $61 \text{ m}^3/\text{h}$ (siehe Volumenberechnung der Druckluft im Druckluftbehälter $V_3 = V_5$).

Daraus errechnet sich der Wassergehalt ℓ_5 der Druckluft im Leitungssystem je m^3 Druckluft:

$$\ell_5 = \frac{\mathcal{F}_4}{V_5}$$

$$\ell_5 = \frac{394}{61} \quad \frac{\text{g/h}}{\text{m}^3/\text{h}}$$

$$\ell_5 = 6,46 \text{ g/m}^3$$

Für den Wassergehalt $\mathcal{F} = 6,46 \text{ g/m}^3$ ist in Tabelle 1.3 der Taupunkt $t = 4,3^\circ\text{C}$ abzulesen.

Diese Temperatur wird Drucktaupunkt bezeichnet.

Wird die Druckluft ($p_{\text{abs},5} = 8 \text{ bar}$) bei gleichbleibender Temperatur ($t_5 = +20^\circ\text{C}$) auf atmosphärischen Druck ($p_{\text{abs},6} = 1 \text{ bar}$) entspannt, so berechnet sich das Volumen der entspannten Luft:

$$p_6 \cdot V_6 = p_5 \cdot V_5$$

$$V_6 = \frac{p_5 \cdot V_5}{p_6}$$

$$V_6 = \frac{8 \cdot 61}{1} \quad \frac{\text{bar} \cdot \text{m}^3/\text{h}}{\text{bar}}$$

$$V_6 = 488 \text{ m}^3/\text{h}$$

Der Wassergehalt je m^3 entspannter Luft ist dann

$$\ell_6 = \frac{\mathcal{F}_4}{V_6}$$

$$\ell_6 = \frac{394}{488} \quad \frac{\text{g/h}}{\text{m}^3/\text{h}}$$

$$\ell_6 = 0,807 \text{ g/m}^3$$

Der Wassergehalt $\mathcal{F} = 0,81 \text{ g/m}^3$ entspricht nach Tabelle 1.3 einem Taupunkt von $t = -21^\circ\text{C}$.

Diese Temperatur wird atmosphärischer Taupunkt bezeichnet.

Beispiel 4.3 Druckabfall in Hauptleitungen

Am Ende einer 300 m langen Druckluftleitung wird ein Volumenstrom von $15 \text{ m}^3/\text{min}$ (Normzustand) benötigt. In die Leitung sind 4 Sitzventile, 4 Krümmer $R = d$, 5 Winkel und 5 T-Stücke eingebaut. Der Druck am Leitungsanfang ist $p_e = 8 \text{ bar}$, der Druckabfall am Ende der Leitung darf $\Delta p = 0,15 \text{ bar}$ nicht überschreiten.

Im Nomogramm Bild (2.14) sind die Werte für dieses Beispiel eingetragen: Aus dem Betriebsdruck $p_e = 8 \text{ bar}$, dem Volumenstrom $15 \text{ m}^3/\text{min}$ und der Leitungslänge 300 m ergibt sich bei einem Rohrrinnendurchmesser von 80 mm ein Druckabfall von $\Delta p = 0,16 \text{ bar}$. Um den Druckabfall durch die eingebauten Armaturen zu berücksichtigen, wird der nächstgrößere Rohrdurchmesser ($\phi 100 \text{ mm}$) gewählt.

Aus Tabelle 2.1 können jetzt die den Armaturen gleichgesetzten Rohrlängen für Durchmesser 100 mm ermittelt werden:

Sitzventil $4 \times 30 \text{ m} = 120 \text{ m}$

Krümmer $10 \times 1,5 \text{ m} = 15 \text{ m}$

Winkel $5 \times 7 \text{ m} = 35 \text{ m}$

T-Stück $5 \times 10 \text{ m} = 50 \text{ m}$

gleichwertige Rohrlänge 220 m

Unter Berücksichtigung der eingebauten Armaturen ergibt sich eine Gesamtleitungslänge von $300 \text{ m} + 220 \text{ m} = 520 \text{ m}$.

Aus dem Nomogramm (Bild 2.14) wird für 520 m Leitungslänge bei Rohrdurchmesser 100 mm ein Druckabfall von $\Delta p = 0,09 \text{ bar}$ abgelesen.

Beispiel 4.4 Volumenstrom ermittelt mit Behälter-Meßverfahren

Am Ende einer Druckluftleitung wird der zur Verfügung stehende Volumenstrom mit dem Behälter-Meßverfahren ermittelt. Folgende Meßwerte stehen für die Berechnung zur Verfügung:

Druck der angesaugten Luft $p_{\text{abs},1} = 1 \text{ bar}$

Temperatur der angesaugten Luft $T_1 = 293 \text{ K}$

Behältervolumen $V_2 = 2 \text{ m}^3$

Temperatur im Behälter $T_2 = 298 \text{ K}$

Druckanstieg im Behälter $\Delta p = 6 \text{ bar}$

Zeit für den Druckanstieg im Behälter $\Delta t = 115 \text{ s}$

Der Volumenstrom berechnet sich nach Gleichung 2.29.

$$q_v = \frac{V_2 \cdot T_1 \cdot \Delta p}{p_1 \cdot T_2 \cdot \Delta t}$$

$$= \frac{2 \cdot 293 \cdot 6}{115 \cdot 298 \cdot 1}$$

$$= 0,1026 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (Normzustand)}$$

$$= 6,16 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (Normzustand)}$$

Beispiel 4.5 Volumenstrom ermittelt mit Ausfluß-Meßverfahren

Der Volumenstrom eines Verdichters ist mit dem Ausfluß-Meßverfahren nach FMA Pokorny zu überprüfen. Folgende Meßwerte stehen für die Berechnung zur Verfügung:

Durchmesser der Meßblenden-Bohrung	$d = 0,85 \text{ cm}$
Druck der angesaugten Luft	$p_{\text{abs},1} = 1 \text{ bar}$
Temperatur der angesaugten Luft	$T_1 = 291 \text{ K}$
Druck vor der Meß-Blende	$p_{\text{abs},2} = 8 \text{ bar}$
Temperatur vor der Meß-Blende	$T_2 = 319 \text{ K}$
Der Volumenstrom berechnet sich aus Gleichung 2.30	

$$q_v = 0,0458 \cdot d^2 \cdot \frac{p_2 \cdot T_1}{p_1 \cdot \sqrt{T_2}}$$

$$= 0,0458 \cdot 0,85^2 \cdot \frac{8 \cdot 291}{1 \cdot \sqrt{319}}$$

$$= 4,3 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (Normzustand)}$$

Für überschlägige Berechnung erhält man nach Gleichung 2.31

$$q_v = \frac{d^2 \pi}{4} p_2$$

$$= \frac{0,85^2 \cdot \pi}{4} \cdot 8$$

$$= 4,54 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (Normzustand)}$$

Beispiel 4.6 Passungsspiel Prüfvorrichtung

Aufgabe:

Das Passungsspiel zwischen Kolbenschieber und Kolbenschieberbohrung eines Ventiles soll mit Hilfe des Schwebekörper-Meßverfahren geprüft werden. Wegen des geringen Passungsspieles ist, um eine ausreichende Anzeige am Meßgerät zu erhalten, die zu prüfende Stelle mit Druckluft von $p_e = 20 \text{ bar}$ zu beaufschlagen. Der Ventilkörper (Prüfling) ist in einer Vorrichtung derart zu spannen, daß die Anschlüsse vor und nach der Prüfstelle dicht mit dem Prüfluftanschluß, bzw. mit der Leitung zum Meßgerät verbunden werden. Die Prüfluft darf erst, nachdem der Ventilkörper gespannt ist, zum Prüfling geleitet werden und muß nach der Prüfung, vor dem Öffnen der Vorrichtung, abgeschaltet werden. Die Spannkraft der Vorrichtung muß mindestens 2000 N betragen und darf 3000 N nicht überschreiten. Die Spannvorrichtung darf nur bei geschlossenem Schutz schließen. Es stehen Versorgungsleitungen mit $p_e = 6,5 \dots 7 \text{ bar}$ und $p_e = 21 \dots 23 \text{ bar}$ zur Verfügung.

Lösung:

Im Anlageschema (Bild 4.1), im Weg-Schritt-Diagramm (Bild 4.2) und im Programmablaufplan Bild (4.3) ist der Aufbau der Vorrichtung und der Steuerungsablauf dargestellt.

Da in der Anlage nur ein Signalglied vorhanden ist, das zwei Stellglieder in direkter oder zeitlich verzögerter Folge steuert, kann die Steuerung ohne Zuhilfenahme eines Sy-

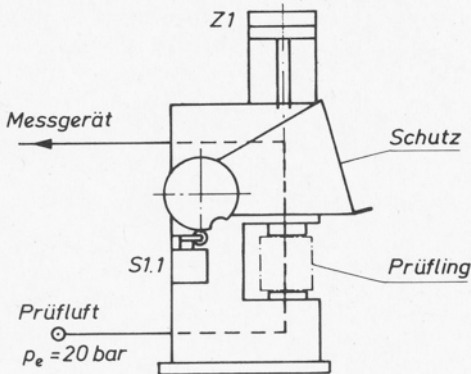


Bild 4.1
Anlageschema zu Beispiel 4.6,
Prüfeinrichtung



Bild 4.2 Weg-Schritt-Diagramm zu Beispiel 4.6, Prüfeinrichtung

stems direkt als Geräteplan Bild 4.4 aufgebaut werden. Auf die Darstellung des Arbeitsablaufes in einem Funktionsdiagramm kann verzichtet werden, da bereits im Weg-Schritt-Diagramm alle wichtigen Zusammenhänge dargestellt sind.

Die verlangte Spannkraft von 2000 ... 3000 N an der ausgefahrenen Kolbenstange des Zylinders Z1 berechnet sich aus:

Atmosphärendruck	$p_{amb} = 1 \text{ bar}$
Druck nach der Wartungseinheit	$p_{e,2} = 6 \text{ bar}$
Kraft an der ausgefahrenen Kolbenstange	$F_A = 200 \dots 300 \text{ daN}$
Wirkungsgrad des Zylinders	$\eta = 0,8$
Zylinderhub	$H = 5 \text{ cm}$

$$F_A = A_1 \cdot p_{e,2} \cdot \eta$$

daraus

$$A_1 = \frac{F_A}{p_{e,2} \cdot \eta}$$

$$A_1 = \frac{250}{6 \cdot 0,8}$$

$$A_1 = 52 \text{ cm}^2$$

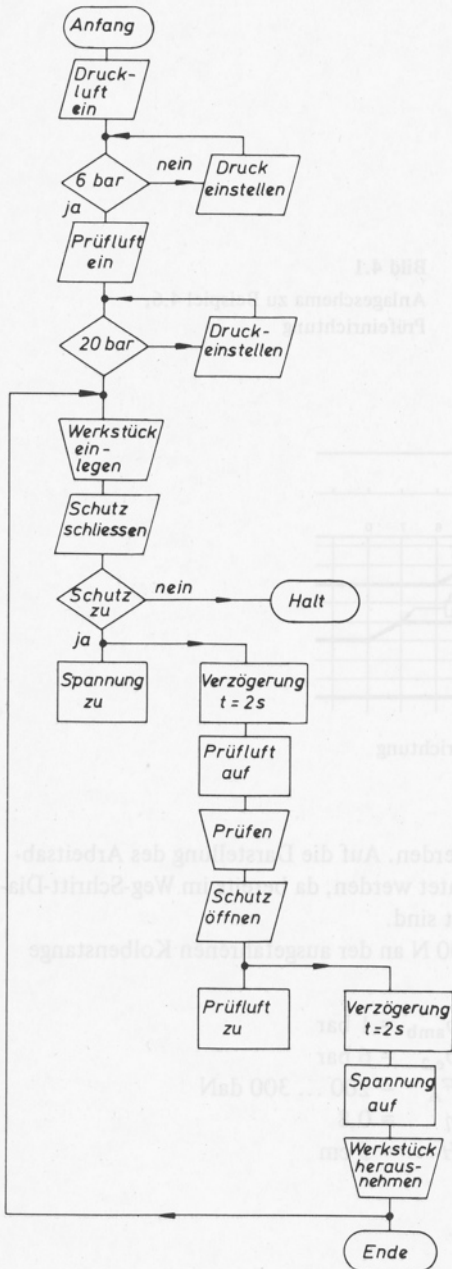


Bild 4.3

Programmablaufplan zu Beispiel 4.6,
Prüfeinrichtung

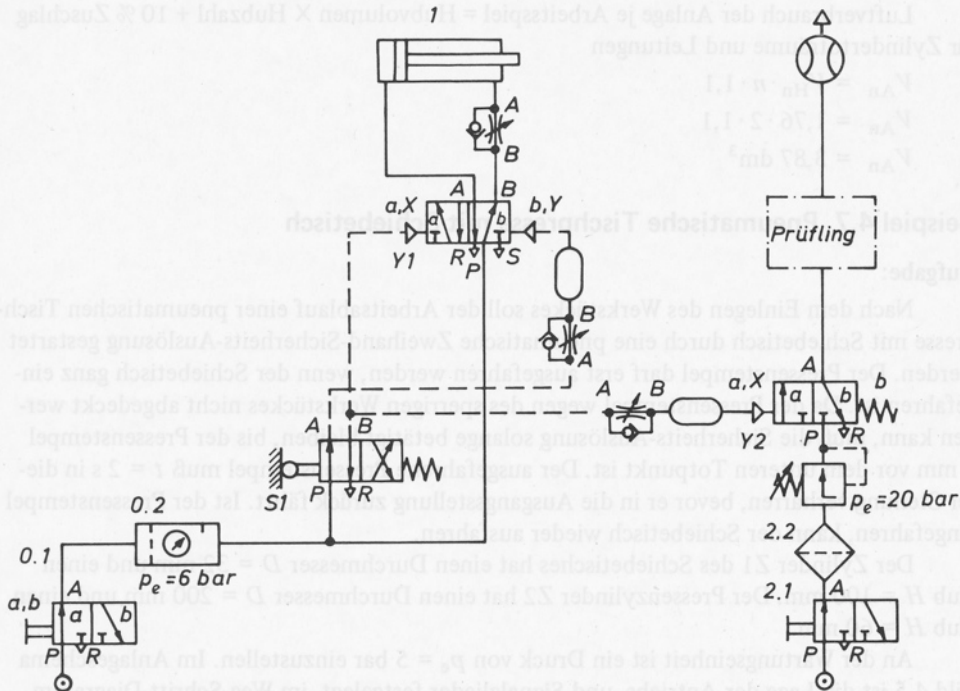


Bild 4.4 Geräteplan zu Beispiel 4.6, Prüfeinrichtung

Der gewählte Zylinder hat einen Durchmesser von 80 mm. Damit berechnet sich die Kraft an der ausgefahrenen Kolbenstange

$$\begin{aligned}
 F_A &= \frac{D^2 \cdot \pi}{4} p_{e,2} \cdot \eta \\
 &= \frac{8^2 \cdot \pi}{4} 6 \cdot 0,8 \\
 &= 240 \text{ daN.}
 \end{aligned}$$

Der Luftverbrauch der Anlage für ein Arbeitsspiel, ohne Berücksichtigung des Prüfluftverbrauches, berechnet sich aus dem Hubvolumen des Spannzyllinders und der Zahl der Hube je Arbeitsspiel.

Hubvolumen des Zylinders

$$V_{Hn} = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot H \cdot p_{abs,2}}{4000 \cdot p_{abs,0}}$$

$$V_{Hn} = \frac{8^2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 7}{4000 \cdot 1}$$

$$V_{Hn} = 1,76 \text{ dm}^3$$

Hubzahl je Arbeitsspiel $n = 2$

Luftverbrauch der Anlage je Arbeitsspiel = Hubvolumen $\times$ Hubzahl + 10 % Zuschlag
für Zylindertoträume und Leitungen

$$V_{An} = V_{Hn} \cdot n \cdot 1,1$$

$$V_{An} = 1,76 \cdot 2 \cdot 1,1$$

$$V_{An} = 3,87 \text{ dm}^3$$

Beispiel 4.7 Pneumatische Tischpresse mit Schiebetisch

Aufgabe:

Nach dem Einlegen des Werkstückes soll der Arbeitsablauf einer pneumatischen Tischpresse mit Schiebetisch durch eine pneumatische Zweihand-Sicherheits-Auslösung gestartet werden. Der Pressenstempel darf erst ausgefahren werden, wenn der Schiebetisch ganz eingefahren ist. Da der Pressenstempel wegen des sperrigen Werkstückes nicht abgedeckt werden kann, muß die Sicherheits-Auslösung solange betätigt bleiben, bis der Pressenstempel 5 mm vor dem unteren Totpunkt ist. Der ausgefahrene Pressenstempel muß $t = 2 \text{ s}$ in dieser Stellung verharren, bevor er in die Ausgangsstellung zurück fährt. Ist der Pressenstempel eingefahren, kann der Schiebetisch wieder ausfahren.

Der Zylinder Z1 des Schiebetisches hat einen Durchmesser $D = 32 \text{ mm}$ und einen Hub $H = 100 \text{ mm}$. Der Pressenzylinder Z2 hat einen Durchmesser $D = 200 \text{ mm}$ und einen Hub $H = 60 \text{ mm}$.

An der Wartungseinheit ist ein Druck von $p_e = 5 \text{ bar}$ einzustellen. Im Anlageschema Bild 4.5 ist die Lage der Antriebs- und Signalglieder festgelegt, im Weg-Schritt-Diagramm Bild 4.6 und im Programmablaufplan Bild 4.7 ist der Arbeitsablauf definiert.

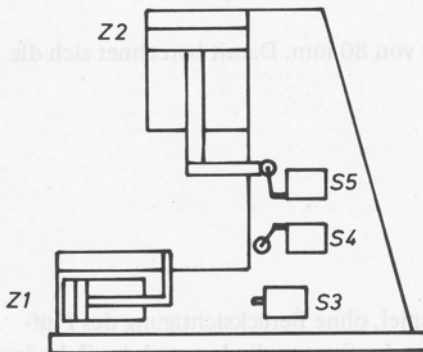


Bild 4.5

Anlageschema zu Beispiel 4.7, Tischpresse

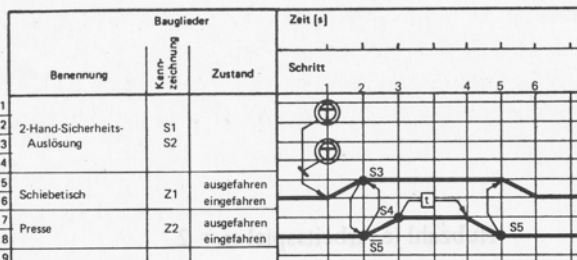


Bild 4.6

Weg-Schritt-Diagramm zu
Beispiel 4.7, Tischpresse

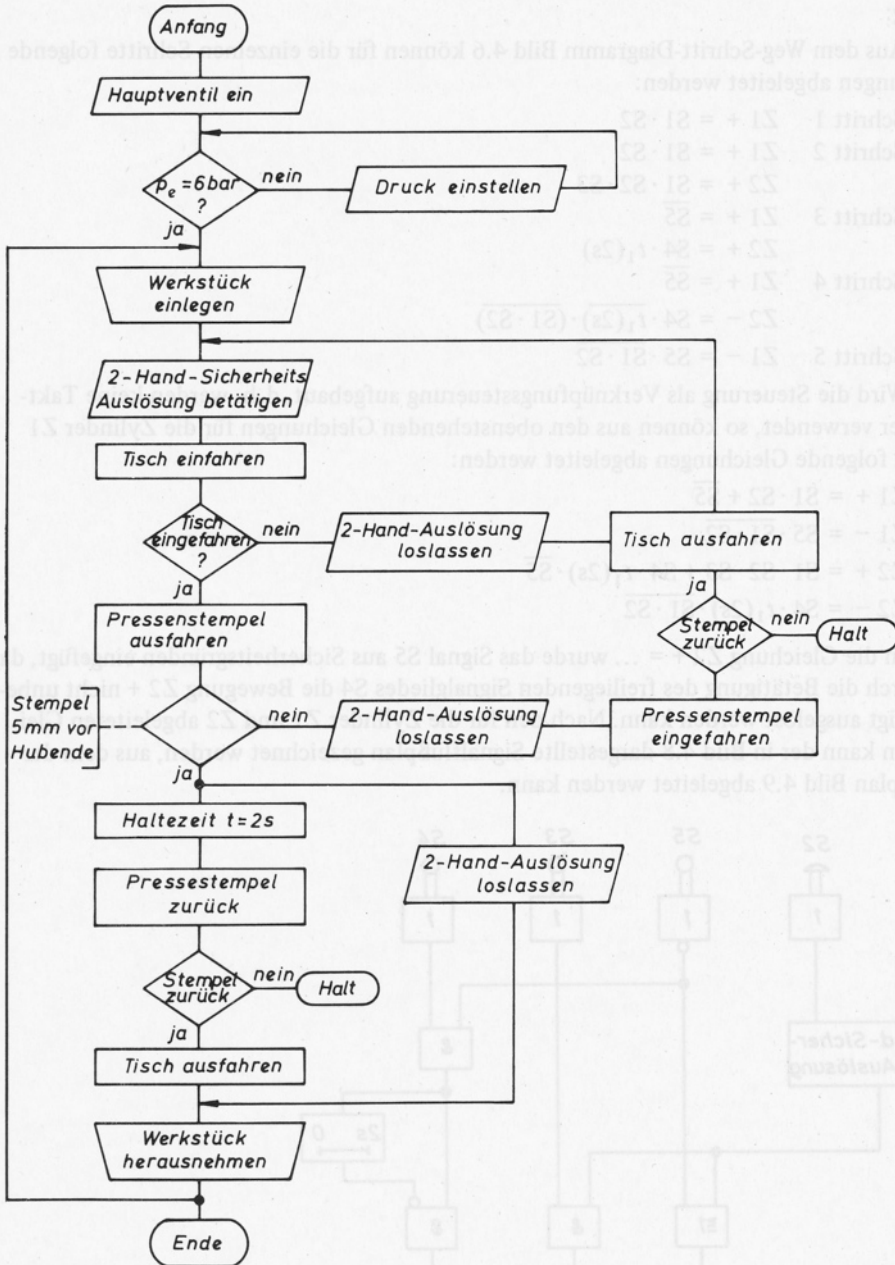


Bild 4.7 Programmablaufplan zu Beispiel 4.7, Tischpresse

Lösung:

Aus dem Weg-Schritt-Diagramm Bild 4.6 können für die einzelnen Schritte folgende Gleichungen abgeleitet werden:

Schritt 1 $Z1 + = S1 \cdot S2$

Schritt 2 $Z1 + = S1 \cdot S2$

$Z2 + = S1 \cdot S2 \cdot S3$

Schritt 3 $Z1 + = \overline{S5}$

$Z2 + = S4 \cdot t_1(2s)$

Schritt 4 $Z1 + = \overline{S5}$

$Z2 - = S4 \cdot \overline{t_1(2s)} \cdot \overline{(S1 \cdot S2)}$

Schritt 5 $Z1 - = S5 \cdot \overline{S1 \cdot S2}$

Wird die Steuerung als Verknüpfungssteuerung aufgebaut, d.h. werden keine Takt-Speicher verwendet, so können aus den obenstehenden Gleichungen für die Zylinder Z1 und Z2 folgende Gleichungen abgeleitet werden:

$Z1 + = S1 \cdot S2 + \overline{S5}$

$Z1 - = S5 \cdot \overline{S1 \cdot S2}$

$Z2 + = S1 \cdot S2 \cdot S3 + S4 \cdot t_1(2s) \cdot \overline{S5}$

$Z2 - = S4 \cdot \overline{t_1(2s)} \cdot \overline{S1 \cdot S2}$

In die Gleichung $Z2 + = \dots$ wurde das Signal S5 aus Sicherheitsgründen eingefügt, damit durch die Betätigung des freiliegenden Signalgliedes S4 die Bewegung $Z2 +$ nicht unbeabsichtigt ausgelöst werden kann. Nach den für die Zylinder Z1 und Z2 abgeleiteten Gleichungen kann der in Bild 4.8 dargestellte Signalflußplan gezeichnet werden, aus dem der Geräteplan Bild 4.9 abgeleitet werden kann.

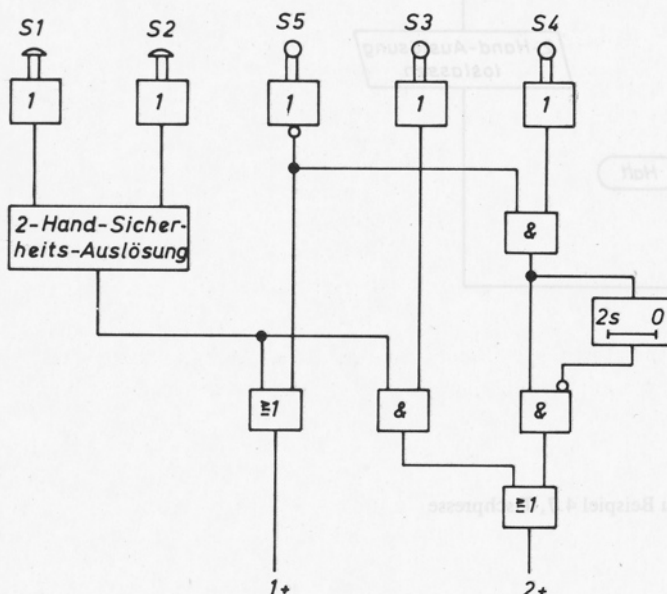


Bild 4.8

Signalflußplan zu Beispiel 4.7,
Tischpresse

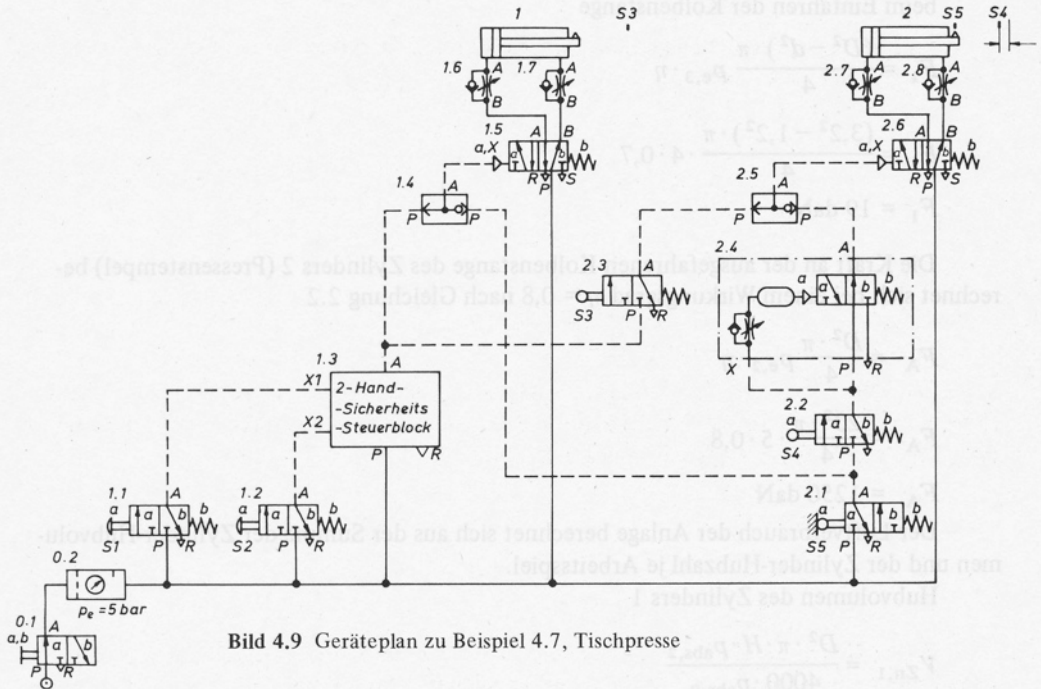


Bild 4.9 Geräteplan zu Beispiel 4.7, Tischpresse

Die Kraft an der Kolbenstange des Schiebetisches Z1 und am Pressenstempel des Zylinders Z2 berechnet sich aus:

Atmosphärendruck	$p_{amb} = 1 \text{ bar}$
Druck nach der Wartungseinheit	$p_{e,2} = 5 \text{ bar}$
Druck in den Zylindern während der Bewegung (Zuluft)	$p_{e,3} = 4 \text{ bar}$
Druck in den Zylindern während der Bewegung (Abluft)	$p_{e,4} = 1 \text{ bar}$
Zylinder 1 Zylinder Durchmesser	$D = 32 \text{ mm}$
Kolbenstangen-Durchmesser	$d = 12 \text{ mm}$
Hub	$H = 100 \text{ mm}$
Zylinder 2 Zylinder Durchmesser	$D = 200 \text{ mm}$
Kolbenstangen Durchmesser	$d = 45 \text{ mm}$
Hub	$H = 60 \text{ mm}$

Die Kraft an der Kolbenstange des Zylinders 1 während der Bewegung bei einem Wirkungsgrad $\eta = 0,7$ berechnet nach Gleichung 2.8 beim Ausfahren der Kolbenstange

$$F_1 = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} p_{e,3} \cdot \eta$$

$$F_1 = \frac{3,2^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 \cdot 0,7$$

$$F_1 = 22 \text{ daN}$$

beim Einfahren der Kolbenstange

$$F_1 = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} p_{e,3} \cdot \eta$$

$$F_1 = \frac{(3,2^2 - 1,2^2) \cdot \pi}{4} \cdot 4 \cdot 0,7$$

$$F_1 = 19 \text{ daN.}$$

Die Kraft an der ausgefahrenen Kolbenstange des Zylinders 2 (Pressenstempel) berechnet sich bei einem Wirkungsgrad $\eta = 0,8$ nach Gleichung 2.2

$$F_A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} p_{e,2} \cdot \eta$$

$$F_A = \frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 5 \cdot 0,8$$

$$F_A = 1250 \text{ daN}$$

Der Luftverbrauch der Anlage berechnet sich aus der Summe der Zylinder-Hubvolumen und der Zylinder-Hubzahl je Arbeitsspiel.

Hubvolumen des Zylinders 1

$$V_{Zn,1} = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot H \cdot p_{abs,2}}{4000 \cdot p_{abs,0}}$$

$$V_{Zn,1} = \frac{3,2^2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 6}{4000 \cdot 1}$$

$$V_{Zn,1} = 0,48 \text{ dm}^3$$

Hubvolumen des Zylinders 2

$$V_{Zn} = \frac{20^2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 6}{4000 \cdot 1}$$

$$V_{Zn} = 11,3 \text{ dm}^3$$

Zylinderhubzahl je Arbeitsspiel $n = 2$

Luftverbrauch der Anlage je Arbeitsspiel

$$V_{An} = (V_{Zn,1} + V_{Zn,2}) \cdot n \cdot 1,1$$

$$V_{An} = (0,48 + 11,3) \cdot 2 \cdot 1,1$$

$$V_{An} = 26 \text{ dm}^3$$

Beispiel 4.8 Verkettungseinrichtung für zwei Bearbeitungsmaschinen

Aufgabe:

Zur Verkettung von zwei Bearbeitungsmaschinen muß das von der ersten Maschine ausgestoßene Werkstück um 300 mm angehoben und um 180° gedreht werden, damit es der zweiten Maschine zugeführt werden kann. Die Einrichtung ist mit einem Handhebelventil ein- und auszuschalten und darf nur dann anlaufen, wenn das Signalglied im Zulaufschacht der zweiten Maschine nicht betätigt ist und das Signalglied im Ausstoßschacht der

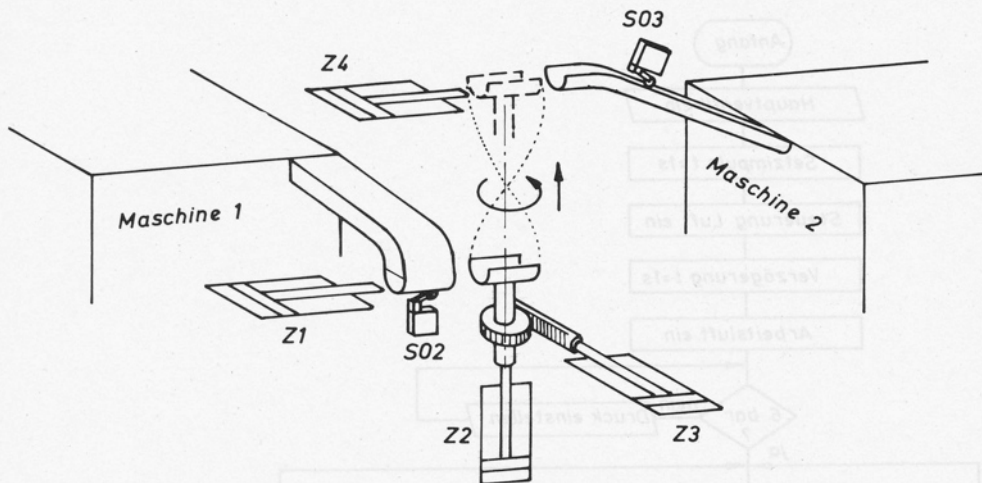


Bild 4.10 Anlageschema zu Beispiel 4.8, Verkettungseinrichtung

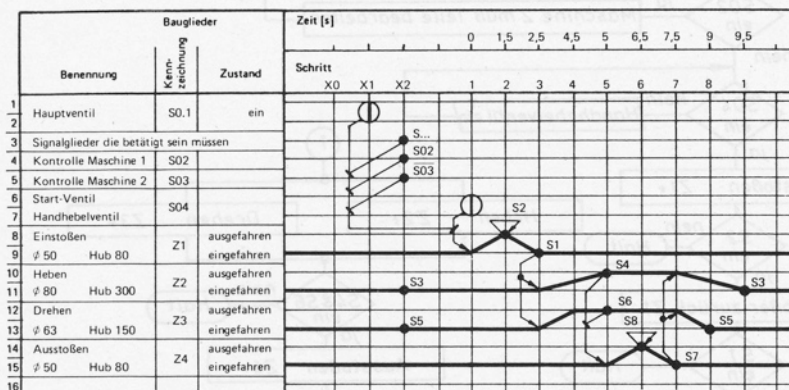


Bild 4.11 Weg-Schritt-Diagramm zu Beispiel 4.8, Verkettungseinrichtung

ersten Maschine betätigt ist. Alle Kolbenstangenendlagen sind durch mechanisch betätigte Signallieder kontrolliert. In der Hauptleitung steht Druckluft mit $p_e = 7 \dots 8$ bar zur Verfügung.

Im Anlageschema Bild 4.10, im Weg-Schritt-Diagramm Bild 4.11 und im Programmablaufplan Bild 4.12 sind Aufbau und Arbeitsablauf der Einrichtung festgelegt.

Lösung:

Wird der Arbeitsablauf in einem Veitch-Karnaugh-Diagramm dargestellt, dann können aus den für die einzelnen Speicher gezeichneten Diagrammen, wie in Bild 4.13 dargestellt, die Gleichungen für die Setz- und Löschnsignale, nach der Bildung größtmöglicher Blöcke,

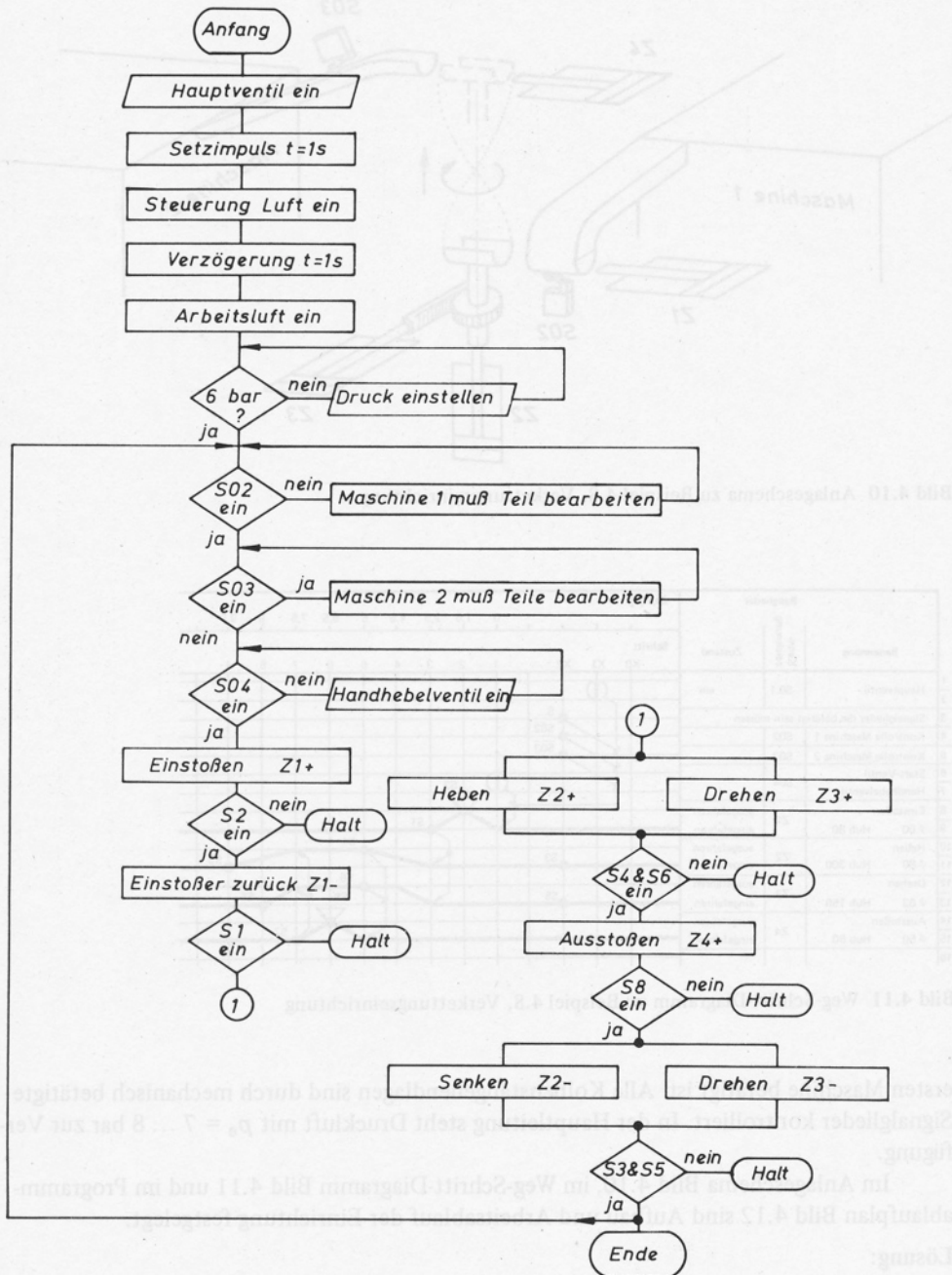


Bild 4.12 Programmablaufplan zu Beispiel 4.8, Verkettungseinrichtung

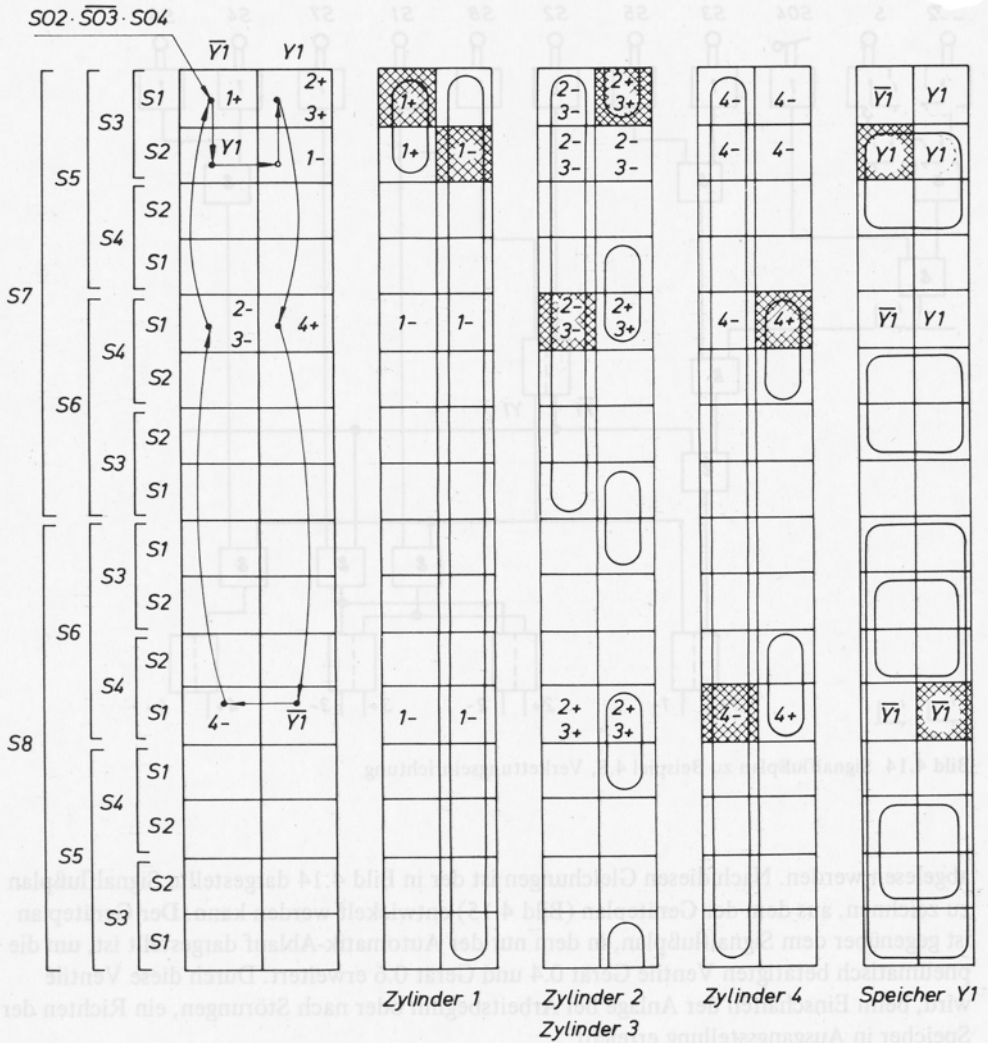


Bild 4.13 Veitch-Karnaugh-Diagramm zu Beispiel 4.8, Verkettungseinrichtung

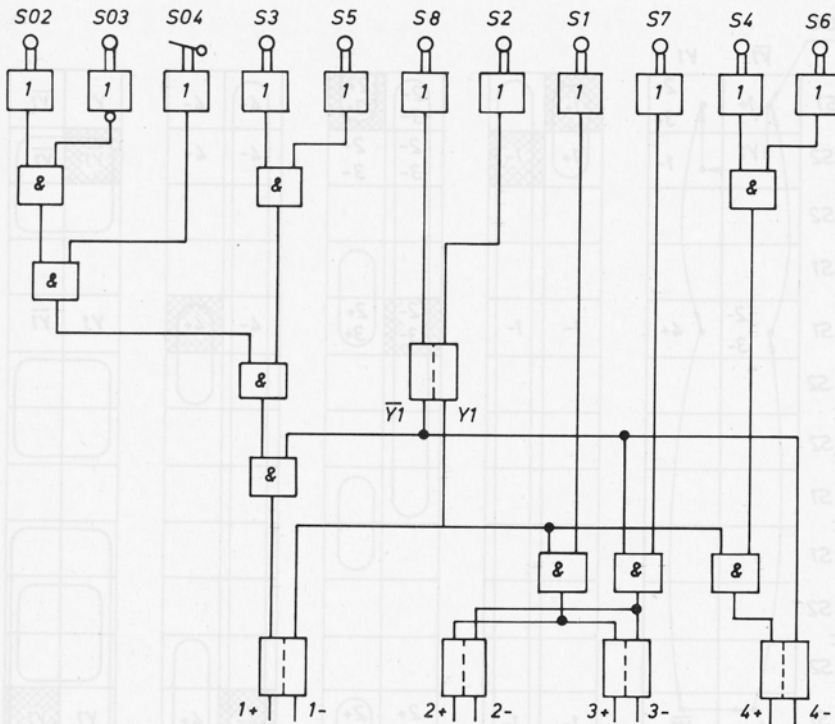


Bild 4.14 Signalflußplan zu Beispiel 4.8, Verkettungseinrichtung

abgelesen werden. Nach diesen Gleichungen ist der in Bild 4.14 dargestellte Signalflußplan zu zeichnen, aus dem der Geräteplan (Bild 4.15) entwickelt werden kann. Der Geräteplan ist gegenüber dem Signalflußplan, in dem nur der Automatik-Ablauf dargestellt ist, um die pneumatisch betätigten Ventile Gerät 0.4 und Gerät 0.6 erweitert. Durch diese Ventile wird, beim Einschalten der Anlage bei Arbeitsbeginn oder nach Störungen, ein Richten der Speicher in Ausgangsstellung erreicht.

Die für die Berechnung notwendigen Angaben, die Berechnung der Kolbenstangen-Kräfte und die Berechnung des Luftverbrauches sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt. Die berechneten Volumenströme geben Aufschluß über die Größe der einzusetzenden Stellglieder. Da die Volumenströme maximal $318 \text{ dm}^3/\text{min}$ betragen, können Stellglieder mit Anschlußgewinde R 1/4 verwendet werden, da diese Geräte bei einem Eingangsdruck von $p_e = 6 \text{ bar}$ und einem Druckgefälle von $\Delta p = 1 \text{ bar}$ ein durchschnittliches Durchflußvermögen von $q_v = 1000 \text{ dm}^3/\text{min}$ haben. Eine genauere Berechnung des Volumenstromes und des Druckabfalles könnte mit den im Abschnitt 1.4.3 gemachten Angaben vorgenommen werden, wenn die Meßwerte C und b für die einzelnen Elemente (Ventile, Leitungen, Verschraubungen) bekannt sind. Leider sind z.Z. diese Meßwerte in keinem Hersteller-Katalog aufgenommen.

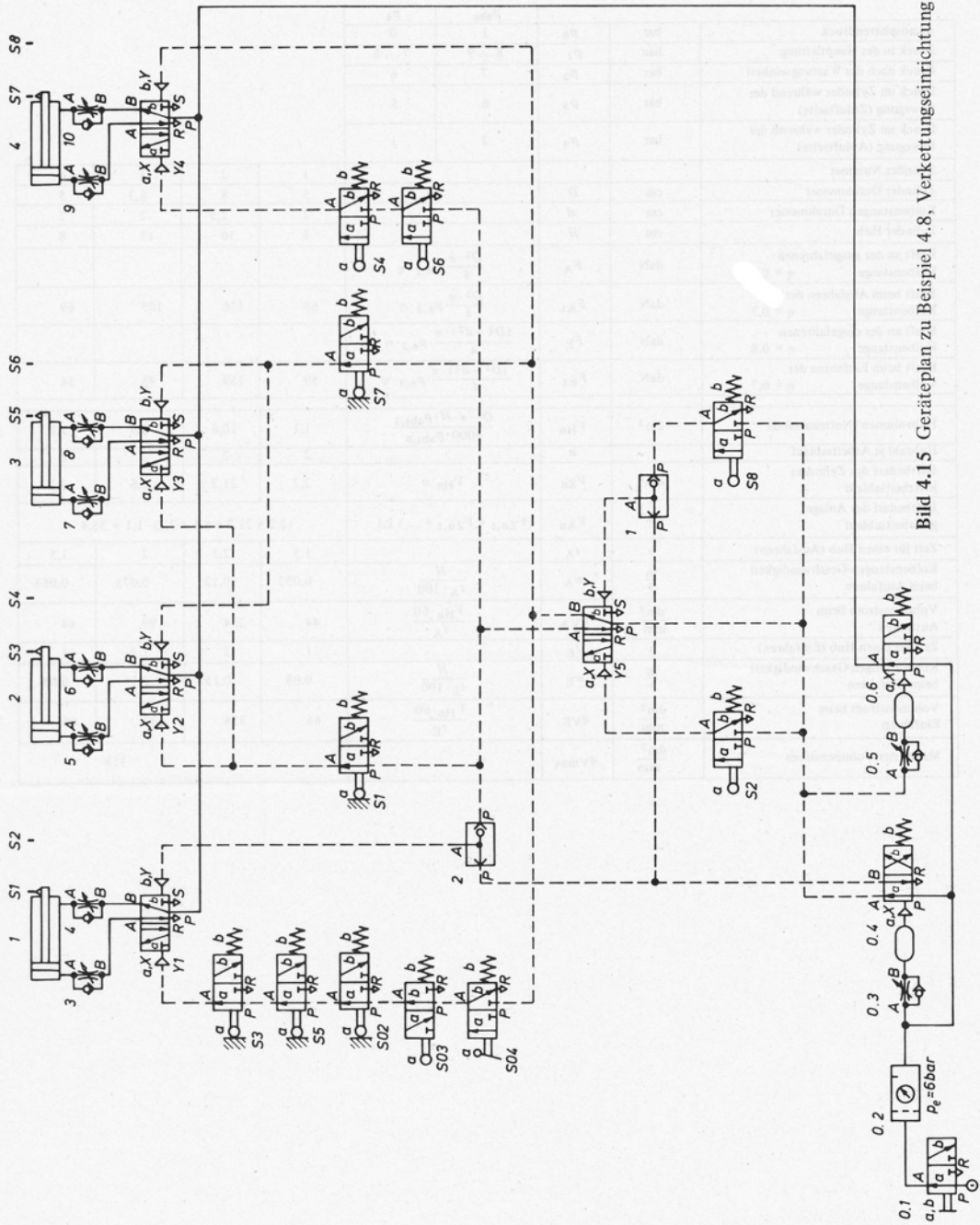


Bild 4.15 Geräteplan zu Beispiel 4.8, Verkettungseinrichtung

Tabelle 4.1 Berechnung zu Beispiel 4.8, Verkettungseinrichtung

			p_{abs}	p_e				
Atmosphärendruck	bar	p_0	1	0				
Druck in der Hauptleitung	bar	p_1	8 ... 9	7 ... 8				
Druck nach der Wartungseinheit	bar	p_2	7	6				
Druck im Zylinder während der Bewegung (Zuluftseite)	bar	p_3	6	5				
Druck im Zylinder während der Bewegung (Abluftseite)	bar	p_4	2	1				
Zylinder Nummer					1	2	3	4
Zylinder Durchmesser	cm	D			5	8	6,3	5
Kolbenstangen Durchmesser	cm	d			2	2,5	2	2
Zylinder Hub	cm	H			8	30	15	8
Kraft an der ausgefahrenen Kolbenstange $\eta = 0,8$	daN	F_A	$\frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,2} \cdot \eta$					
Kraft beim Ausfahren der Kolbenstange $\eta = 0,7$	daN	F_{A1}	$\frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,3} \cdot \eta$	69	176	109	69	
Kraft an der eingefahrenen Kolbenstange $\eta = 0,8$	daN	F_E	$\frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,2} \cdot \eta$					
Kraft beim Einfahren der Kolbenstange $\eta = 0,7$	daN	F_{E1}	$\frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,3} \cdot \eta$	59	159	98	58	
Hubvolumen (Normzustand)	dm ³	V_{Hn}	$\frac{D^2 \cdot \pi \cdot H \cdot p_{\text{abs},2}}{4000 \cdot p_{\text{abs},0}}$	1,1	10,6	3,3	1,1	
Hubzahl je Arbeitsablauf		n		2	2	2	2	
Luftbedarf des Zylinders je Arbeitsablauf	dm ³	V_{Zn}	$V_{Hn} \cdot n$	2,2	21,2	6,6	2,2	
Luftbedarf der Anlage je Arbeitsablauf	dm ³	V_{An}	$(V_{Zn,1} + V_{Zn,2} + \dots) \cdot 1,1$	$(2,2 + 21,2 + 6,6 + 2,2) \cdot 1,1 = 35,4$				
Zeit für einen Hub (Ausfahren)	s	t_A		1,5	2,5	2	1,5	
Kolbenstangen-Geschwindigkeit beim Ausfahren	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	w_A	$\frac{H}{t_A \cdot 100}$	0,053	0,12	0,075	0,053	
Volumenstrom beim Ausfahren	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	q_{VA}	$\frac{V_{Hn} \cdot 60}{t_A}$	44	254	99	44	
Zeit für einen Hub (Einfahren)	s	t_E		1	2	1,5	1	
Kolbenstangen-Geschwindigkeit beim Einfahren	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	w_E	$\frac{H}{t_E \cdot 100}$	0,08	0,15	0,1	0,08	
Volumenstrom beim Einfahren	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	q_{VE}	$\frac{V_{Hn} \cdot 60}{t_E}$	66	318	132	66	
Maximaler Volumenstrom	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	$q_{V\text{max}}$		318				

Beispiel 4.9 Verkettungseinrichtung für zwei Transportbänder

Aufgabe:

In einer Fertigungsstraße muß ein Werkstück von einer Transporteinrichtung auf eine andere Transporteinrichtung umgesetzt und dabei um 180° gedreht werden. Zylinder 1 hebt und senkt die Spanneinrichtung, Zylinder 2 betätigt die Spannbacken und Zylinder 3 schwenkt die Einrichtung um 180° . Die Endlagen aller Kolbenstangen-Bewegungen werden durch mechanisch betätigte Signalglieder kontrolliert.

Bei Betriebsart Einzelschaltung müssen alle Bewegungen unabhängig voneinander ausgeführt werden können.

Bei Betriebsart Automatik ist die Einrichtung durch ein Handhebelventil ein- und auszuschalten und darf nur dann anlaufen, wenn das Kontroll-Signalglied am Band 1 von einem Werkstück betätigt ist und das Kontroll-Signalglied am Band 2 nicht betätigt ist.

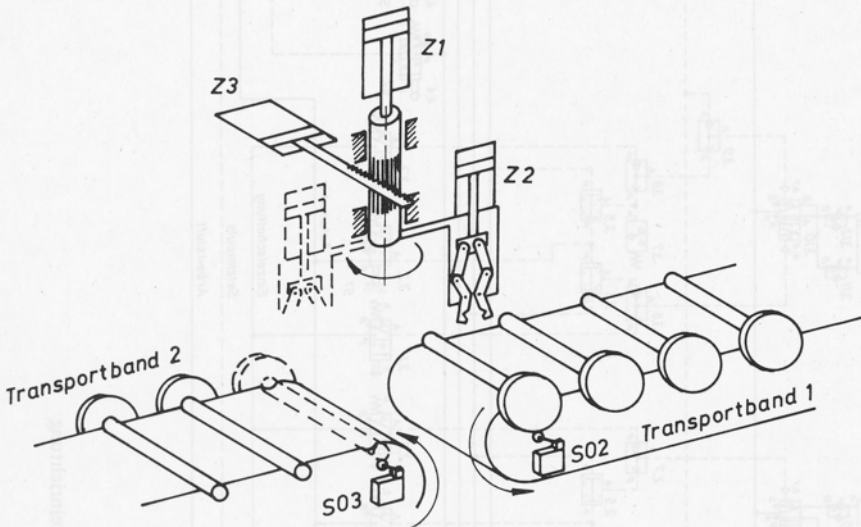


Bild 4.16 Anlageschema zu Beispiel 4.9, Transporteinrichtung

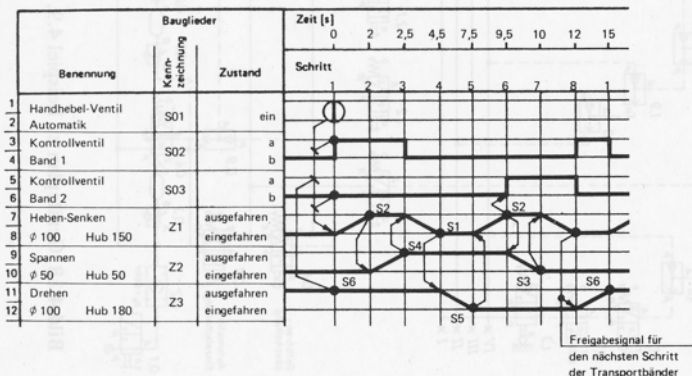


Bild 4.17

Weg-Schritt-Diagramm zu Beispiel 4.9, Transporteinrichtung

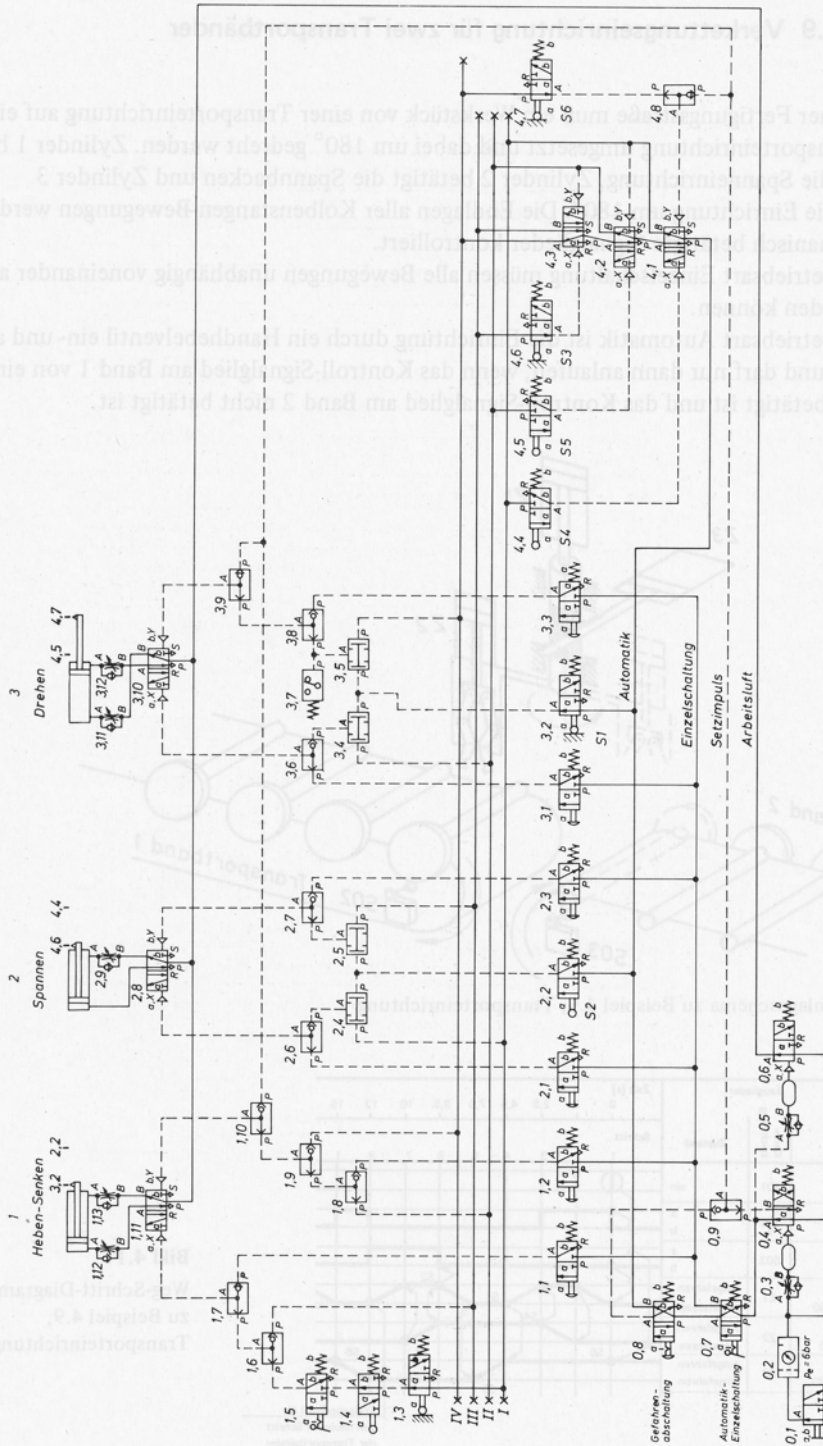


Bild 4.18 Geräteplan zu Beispiel 4.9, Transporteinrichtung

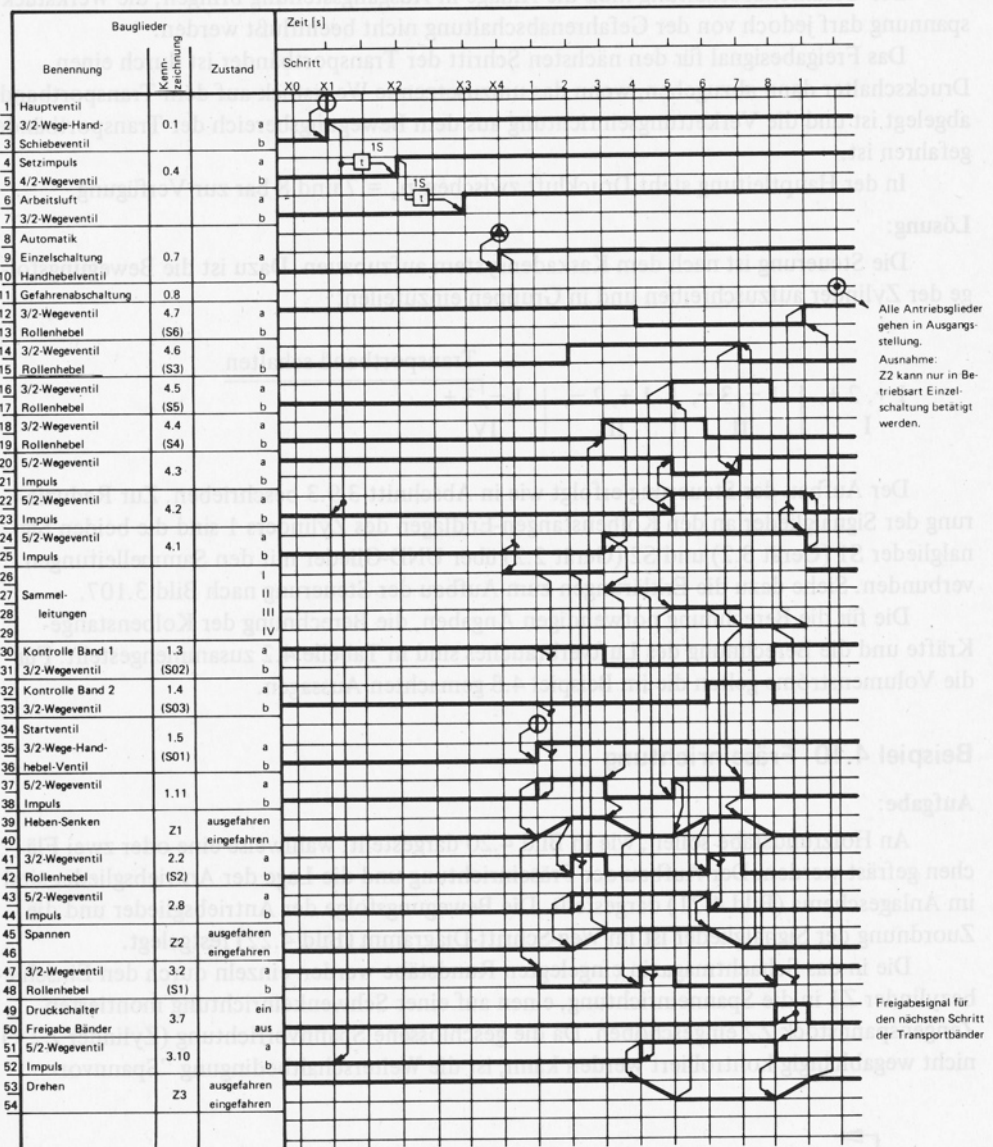


Bild 4.19 Funktionsdiagramm zu Beispiel 4.9, Transporteinrichtung

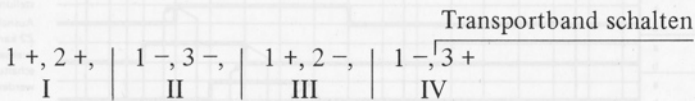
Die Gefahrenabschaltung muß die Anlage in Ausgangsstellung bringen, die Werkstückspannung darf jedoch von der Gefahrenabschaltung nicht beeinflusst werden.

Das Freigabesignal für den nächsten Schritt der Transportbänder ist durch einen Druckschalter dann abzugeben, wenn das umzusetzende Werkstück auf dem Transportband 2 abgelegt ist und die Verkettungseinrichtung aus dem Bewegungsbereich der Transportbänder gefahren ist.

In der Hauptleitung steht Druckluft zwischen $p_e = 7$ und 8 bar zur Verfügung.

Lösung:

Die Steuerung ist nach dem Kaskadensystem aufzubauen. Dazu ist die Bewegungsfolge der Zylinder aufzuschreiben und in Gruppen einzuteilen:



Der Aufbau der Steuerung erfolgt wie in Abschnitt 3.9.3 beschrieben. Zur Reduzierung der Signalglieder an den Kolbenstangen-Endlagen des Zylinders 1 sind die beiden Signalglieder S1 (Gerät 3.2) und S2 (Gerät 2.2) über UND-Glieder mit den Sammelleitungen verbunden. Siehe dazu die Erklärungen zum Aufbau der Steuerung nach Bild 3.107.

Die für die Berechnung notwendigen Angaben, die Berechnung der Kolbenstange-Kräfte und die Berechnung des Luftverbrauches sind in Tabelle 4.2 zusammengestellt. Für die Volumenströme gelten die im Beispiel 4.8 gemachten Aussagen.

Beispiel 4.10 Fräseinrichtung

Aufgabe:

An Holzrundstäbe sollen, wie in Bild 4.20 dargestellt, wahlweise eine oder zwei Flächen gefräst werden. Der Aufbau der Fräseinrichtung und die Lage der Antriebsglieder sind im Anlageschema (Bild 4.21) dargestellt. Die Bewegungsfolge der Antriebsglieder und die Zuordnung der Signalglieder ist im Weg-Schritt-Diagramm (Bild 4.22) festgelegt.

Die in das Schachtmagazin eingelegten Rundstäbe werden einzeln durch den Einschlebezylinder Z1 in die Spanneinrichtung, einen auf einer Schwenkeinrichtung montierten Zangenspannstock Z2 eingeschoben. Da die geschlossene Spannvorrichtung (Zylinder Z2 +) nicht wegabhängig kontrolliert werden kann, ist die Weiterschaltbedingung "Spannvor-

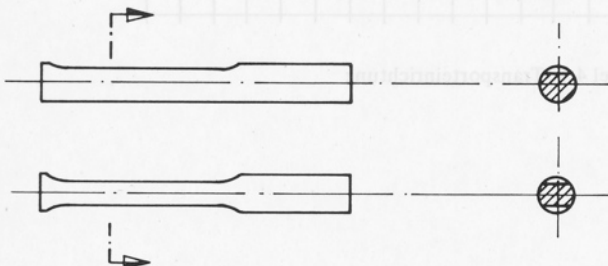


Bild 4.20

Werkstück zu Beispiel 4.10,
Fräseinrichtung

Tabelle 4.2 Berechnung zu Beispiel 4.9, Transporteinrichtung

			p_{abs}	p_e			
Atmosphärendruck	bar	p_0	1	0			
Druck in der Hauptleitung	bar	p_1	8 ... 9	7 ... 8			
Druck nach der Wartungseinheit	bar	p_2	7	6			
Druck im Zylinder während der Bewegung (Zuluftseite)	bar	p_3	6	5			
Druck im Zylinder während der Bewegung (Abluftseite)	bar	p_4	2	1			
Zylinder Nummer					1	2	3
Zylinder Durchmesser	cm	D			10	5	10
Kolbenstangen Durchmesser	cm	d			2,5	2	2,5
Zylinder Hub	cm	H			15	5	18
Kraft an der ausgefahrenen Kolbenstange $\eta = 0,8$	daN	F_A	$\frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,2} \cdot \eta$			94	
Kraft beim Ausfahren der Kolbenstange $\eta = 0,7$	daN	F_{A1}	$\frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,3} \cdot \eta$	275			275
Kraft an der eingefahrenen Kolbenstange $\eta = 0,8$	daN	F_E	$\frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,2} \cdot \eta$				
Kraft beim Einfahren der Kolbenstange $\eta = 0,7$	daN	F_{E1}	$\frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,3} \cdot \eta$	257	57		257
Hubvolumen (Normzustand)	dm ³	V_{Hn}	$\frac{D^2 \cdot \pi \cdot H \cdot p_{\text{abs},2}}{4000 \cdot p_{\text{abs},0}}$		8,25	0,68	9,9
Hubzahl je Arbeitsablauf		n			4	2	2
Luftbedarf des Zylinders je Arbeitsablauf	dm ³	V_{Zn}	$V_{Hn} \cdot n$		33	1,36	19,8
Luftbedarf der Anlage je Arbeitsablauf	dm ³	V_{An}	$(V_{Zn,1} + V_{Zn,2} + \dots) \cdot 1,1$		$(33 + 1,36 + 19,8) \cdot 1,1 = 59,6$		
Zeit für einen Hub (Ausfahren)	s	t_A			2	0,5	3
Kolbenstangen-Geschwindigkeit beim Ausfahren	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	w_A	$\frac{H}{t_A \cdot 100}$		0,075	0,1	0,06
Volumenstrom beim Ausfahren	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	q_{VA}	$\frac{V_{Hn} \cdot 60}{t_A}$	247		82	198
Zeit für einen Hub (Einfahren)	s	t_E			2	0,5	3
Kolbenstangen-Geschwindigkeit beim Einfahren	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	w_E	$\frac{H}{t_E \cdot 100}$		0,075	0,1	0,06
Volumenstrom beim Einfahren	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	q_{VE}	$\frac{V_{Hn} \cdot 60}{t_E}$	247		82	198
Maximaler Volumenstrom	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	$q_{V\text{max}}$					247

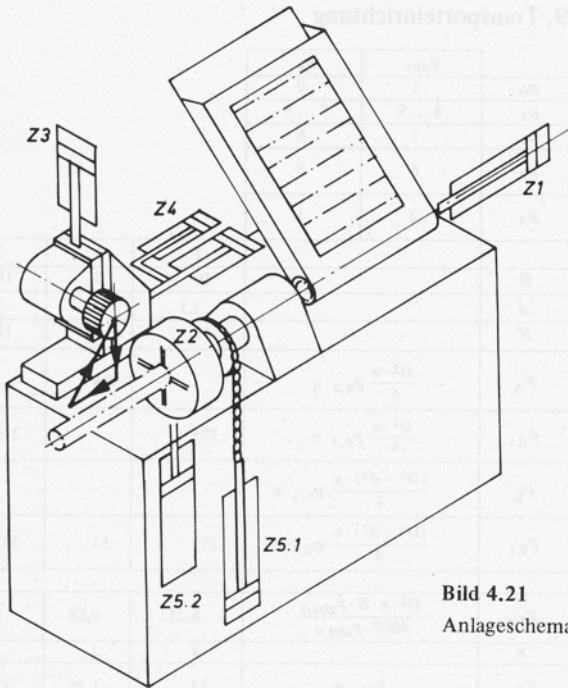


Bild 4.21

Anlageschema zu Beispiel 4.10, Fräseinrichtung

richtung geschlossen“ durch ein auf $p_e = 5$ bar eingestelltes Zuschaltventil zu melden. Die Zustellung des Fräfers erfolgt durch den Zylinder Z3, der Fräsvorschub wird von der Vorschubeinheit Z4 ausgeführt. Im Programm 2 wird die Schwenkvorrichtung durch die zwei, gegenläufig bewegten, mit einer Kette verbundenen Zylinder Z5.1 und Z5.2 um 180° geschwenkt.

In der Hauptleitung steht Druck zwischen $p_e = 7$ und 8 bar zur Verfügung, so daß an der Wartungseinheit ein Druck von $p_e = 6$ bar eingestellt werden kann.

Die Einrichtung darf nur anlaufen, wenn der Schutz geschlossen ist und wenn mindestens ein Rundstab im Magazin liegt. Der Antrieb der Frässpindel bleibt bei der Auslegung der Steuerung unberücksichtigt.

Lösung:

Aus der im Weg-Schritt-Diagramm (Bild 4.22) festgelegten Bewegungsfolge, können der Funktionsplan für die Verknüpfungssteuerung der Einschaltbedingungen (Bild 4.23) und der Funktionsplan für die Ablaufsteuerung des Automatik-Ablaufes (Bild 4.24) entwickelt werden. Aus diesen beiden Funktionsplänen ist der in Bild 4.25 dargestellte Geräteplan für die Ablaufsteuerung aufzubauen.

Die für die Berechnung notwendigen Angaben, die Berechnung der Kolbenstangen-Kräfte und die Berechnung des Luftverbrauches sind in Tabelle 4.2 zusammengestellt. Für die Volumenströme gelten die im Beispiel 4.8 gemachten Aussagen.

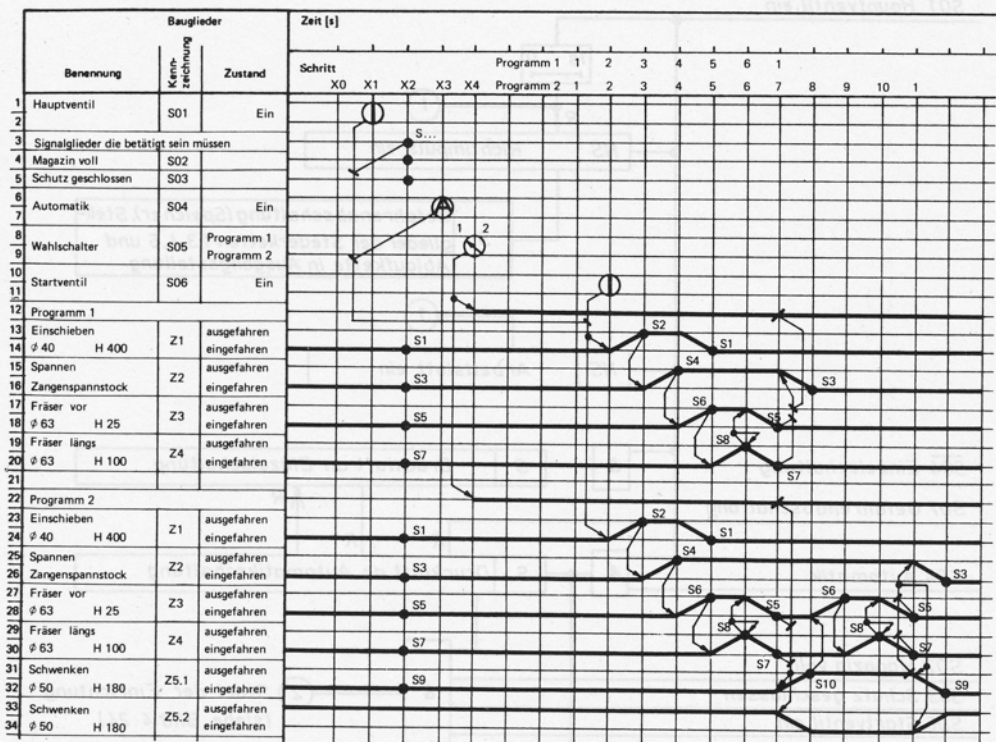


Bild 4.22 Weg-Schritt-Diagramm zu Beispiel 4.10, Fräseinrichtung

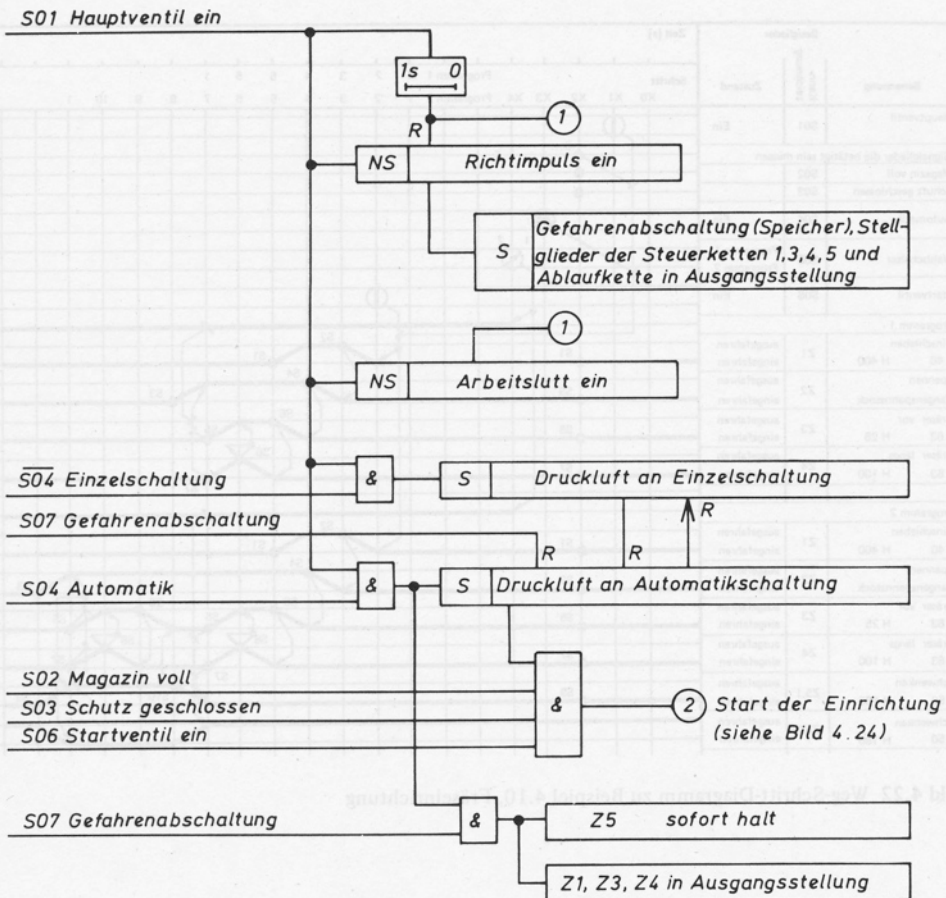


Bild 4.23 Funktionsplan zu Beispiel 4.10, Einschaltbedingungen

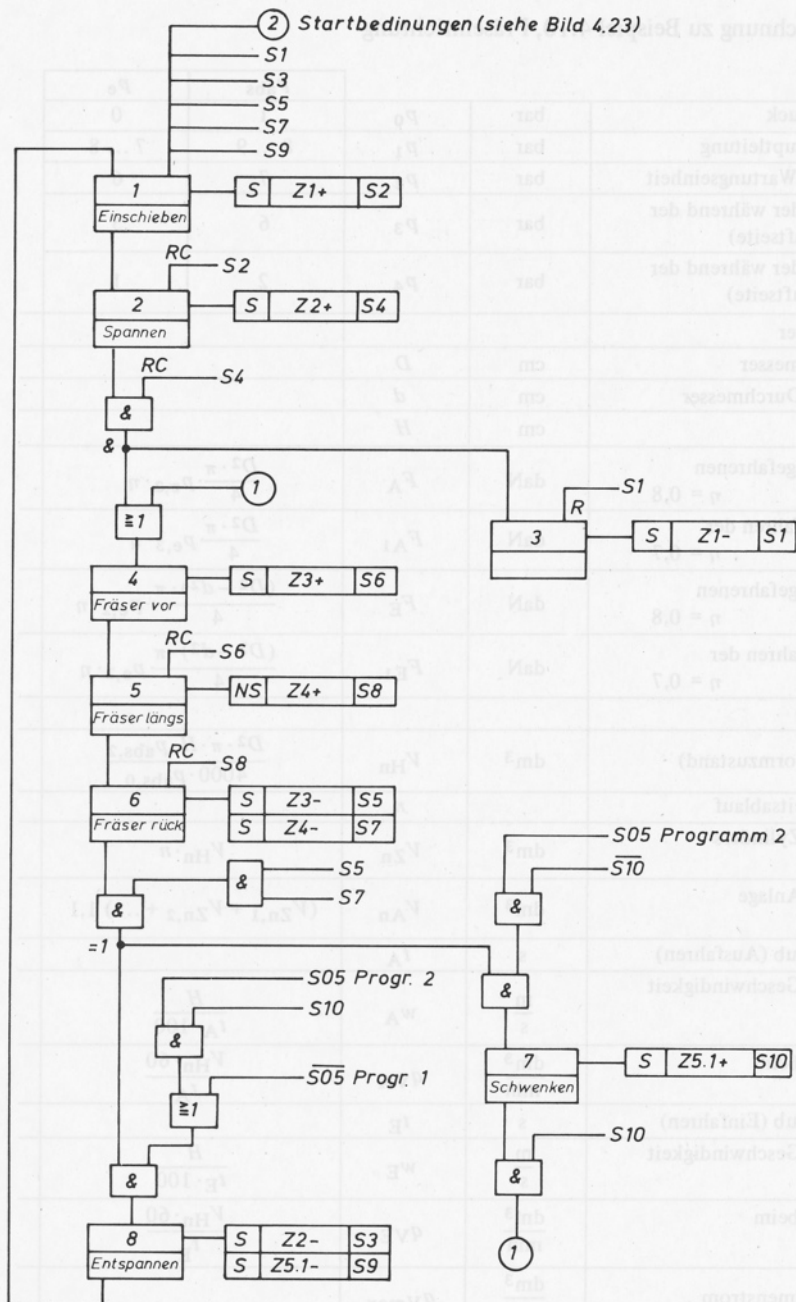


Bild 4.24 Funktionsplan zu Beispiel 4.10, Automatikablauf

Tabelle 4.3 Berechnung zu Beispiel 4.10, Fräseinrichtung

			p_{abs}	p_e
Atmosphärendruck	bar	p_0	1	0
Druck in der Hauptleitung	bar	p_1	8 ... 9	7 ... 8
Druck nach der Wartungseinheit	bar	p_2	7	6
Druck im Zylinder während der Bewegung (Zulufseite)	bar	p_3	6	5
Druck im Zylinder während der Bewegung (Abluftseite)	bar	p_4	2	1
Zylinder Nummer				
Zylinder Durchmesser	cm	D		
Kolbenstangen Durchmesser	cm	d		
Zylinder Hub	cm	H		
Kraft an der ausgefahrenen Kolbenstange $\eta = 0,8$	daN	F_A	$\frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,2} \cdot \eta$	
Kraft beim Ausfahren der Kolbenstange $\eta = 0,7$	daN	F_{A1}	$\frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,3} \cdot \eta$	
Kraft an der eingefahrenen Kolbenstange $\eta = 0,8$	daN	F_E	$\frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,2} \cdot \eta$	
Kraft beim Einfahren der Kolbenstange $\eta = 0,7$	daN	F_{E1}	$\frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot p_{e,3} \cdot \eta$	
Hubvolumen (Normzustand)	dm ³	V_{Hn}	$\frac{D^2 \cdot \pi \cdot H \cdot p_{\text{abs},2}}{4000 \cdot p_{\text{abs},0}}$	
Hubzahl je Arbeitsablauf		n		
Luftbedarf des Zylinders je Arbeitsablauf	dm ³	V_{Zn}	$V_{Hn} \cdot n$	
Luftbedarf der Anlage je Arbeitsablauf	dm ³	V_{An}	$(V_{Zn,1} + V_{Zn,2} + \dots) 1,1$	
Zeit für einen Hub (Ausfahren)	s	t_A		
Kolbenstangen-Geschwindigkeit beim Ausfahren	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	w_A	$\frac{H}{t_A \cdot 100}$	
Volumenstrom beim Ausfahren	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	q_{VA}	$\frac{V_{Hn} \cdot 60}{t_A}$	
Zeit für einen Hub (Einfahren)	s	t_E		
Kolbenstangen-Geschwindigkeit beim Einfahren	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	w_E	$\frac{H}{t_E \cdot 100}$	
Volumenstrom beim Einfahren	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	q_{VE}	$\frac{V_{Hn} \cdot 60}{t_E}$	
Maximaler Volumenstrom	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	$q_{V\text{max}}$		

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
4	10	6,3	6,3	5					
1,6	6	2	2	2					
40	2	2,5	10	18					
	Herstellerangabe: Spannkraft = 5000 daN	150							
44			109						
		98	98	57					
Programm 1 (1 Fläche)					Programm 2 (2 Flächen)				
3,5	0,7	0,55	2,2	2,5	3,5	0,7	0,55	2,2	2,5
2	1	2	2	0	2	1	4	4	2
7,0	0,7	1,1	4,4		7,0	0,7	2,2	8,8	5,0
(7,0 + 0,7 + 1,1 + 4,4) · 1,1 = 14,5					(7 + 0,7 + 2,2 + 8,8 + 5) · 1,1 = 26,1				
2	0,5	1	3		2	0,5	1	3	2
0,2	0,04	0,025	0,033		0,2	0,04	0,025	0,033	
105	84	33	44		105	84	33	44	
2	1	1	1,5		2	1	1	1,5	2
0,2	0,02	0,025	0,066		0,2	0,02	0,025	0,066	0,09
105	0	33	88		105	0	33	88	75
138					138				

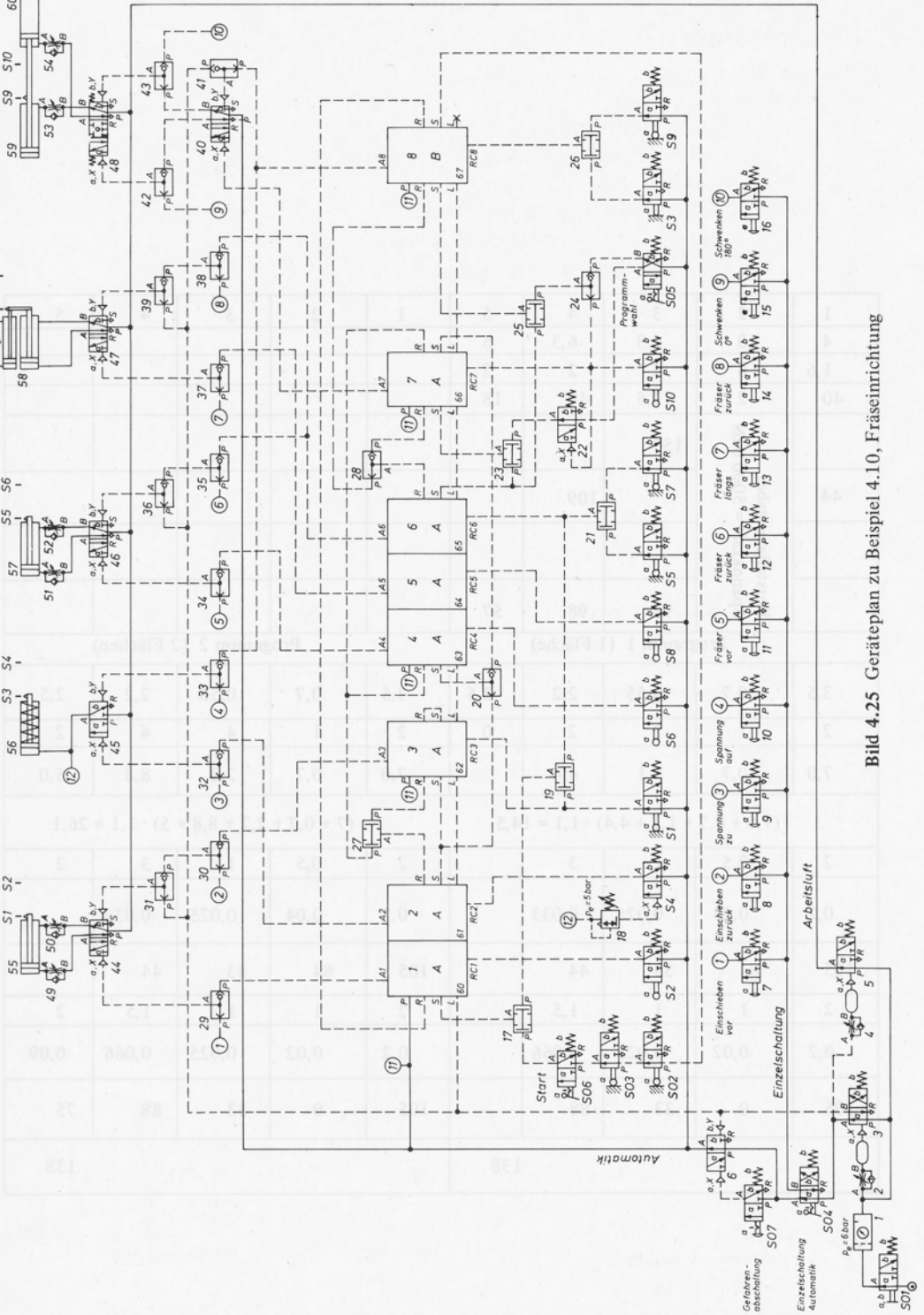


Bild 4.25 Geräteplan zu Beispiel 4.10, Fräseinrichtung

Formelzeichen

A	Fläche
a	Beschleunigung
b	kritisches Druckverhältnis
C	Leitwert (Volumenstrom, Eingangsdruck)
c	Schallgeschwindigkeit
c_p	spezifische Wärme bei konstantem Druck
c_v	spezifische Wärme bei konstantem Volumen
c_n	spezifische Wärme bei politropischer Zustandsänderung
D	Durchmesser
d	Durchmesser
F	Kraft
$\mathcal{F}$	maximaler Feuchtigkeitsgehalt
ℓ	tatsächlicher Feuchtigkeitsgehalt
G	Gewicht
g	Fallbeschleunigung
H	Hub
h	Höhe
i	Übersetzungsverhältnis
K_t	Korrekturfaktor bei Temperaturabweichung
K	Dämpfungskonstante (Zylinder-Endlagen-Dämpfung)
l	Länge
m	Masse
m	Öffnungsverhältnis (Gleichung 2.32)
n	Politropenexponent
n	allgemeine Zahl
p	Druck
q_m	Massenstrom
q_v	Volumenstrom
R	Gaskonstante
t	Temperatur in °C
T	absolute Temperatur in K
V	Volumen
v	spezifisches Volumen
W	Energie/Arbeit
w	Geschwindigkeit
α	Winkel
α	Durchflußzahl (Gleichung 2.32)
ϵ	Expansionszahl (Gleichung 2.32)
η	Wirkungsgrad
κ	Adiabatexponent
μ	Reibwert
ρ	Dichte
φ	relative Feuchtigkeit
ψ	Ausflußfunktion
ω	Durchflußzahl

Indizes

abs	absolut
amb	umgebend, ambient
c	kritisch
e	überschreitend, excedens
n	Normzustand

Literaturverzeichnis

Pneumatik-Kompedium, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1977

Wiedmann, Über das Durchflußvermögen pneumatischer Komponenten, o+p 23 (1979) Nr. 2, 105 ... 110

Wiedmann, Kompressible Strömung durch hintereinander geschaltete Blenden, o+p 23 (1979) Nr. 5, 410 ... 412

Hasebrink, Schaltungsmöglichkeiten mit pneumatischen Taktketten o+p 23 (1979) Nr. 4, 334 ... 339

CETOP RP 50 P, Durchflußkennwerte von Druckluftgeräten, 1973

ISO 1219, Transmissions hydrauliques et pneumatiques — Symboles graphiques, 1977

DIN 40 700, Teil 14, Schaltzeichen, Digitale Informationsverarbeitung, Juli 1976

DIN 40 719, Teil 6, Schaltungsunterlagen, Regeln und graphische Symbole für Funktionspläne, März 1977

DIN 19 237, Steuerungstechnik, Begriffe, Februar 1977

DIN 66 001, Informationsverarbeitung, Sinnbilder für Datenfluß- und Programmablaufpläne, September 1977

VDI 3226, Pneumatische Schaltungen, Schaltpläne, Dezember 1966

VDI 3260, Funktionsdiagramme von Arbeitsmaschinen und Fertigungsanlagen, Juli 1977

VDI/VDE 3681, Blatt 1, Fluidik, Begriffe, März 1976

VDI/VDE 3681, Blatt 3, Fluidik, Schaltzeichen, April 1976

Firmenverzeichnis

Die genannten Firmen haben Bildmaterial für das Buch zur Verfügung gestellt. Sie sind in der Bildunterschrift jeweils mit dem Kurzwort genannt.

Bosch	Robert Bosch GmbH, Geschäftsbereich K6, Robert-Bosch-Str. 40, Postfach 50, 7000 Stuttgart 1
Crouzet	Crouzet GmbH, Niedermannsweg 4, Postfach 10, 4000 Düsseldorf 22
Desoutter	Desoutter GmbH, Edisonstraße 1, Postfach 1249, 6457 Maintal 3 – Hochstadt
Drumag	Drumag GmbH, Glarnerstraße 2, Postfach 72, 7880 Säckingen
Ermeto	Ermeto Armaturen GmbH, Am Metallwerk 9, Postfach 120 206, 4800 Bielefeld 12
EWO	Armaturen und Autogengerätefabrik, Hermann Holzapfel, Postfach 80 03 09, 7000 Stuttgart-Vaihingen 80
EFFBE	Fritz Brumme KG, Hermannstr. 9–13, 6096 Raunheim
Festo	FESTO PNEUMATIC, Ruiter-Straße 82, Postfach 6040, 7300 Esslingen 1 (Berkheim)
Fibro	Fischer-Brodbeck, Postfach 1120, 7102 Weinsberg
FMA	Frankfurter Maschinenbau AG, Solmsstraße 2–26, 6000 Frankfurt 90
Freudenberg	Carl Freudenberg, Postfach 1380, 6940 Weinheim
Gardner Denver	Deutsche-Gardner-Denver GmbH, Industriestraße, Postfach 30, 7081 Westhausen
Herion	Herion Regelungs- und Steuerungstechnik, Postfach 1560, 7012 Fellbach
Hoerbiger	Hoerbiger-Pneumatic GmbH, Im Forchet 5, Postfach 20, 8920 Schongau
Hydrovane	Compair (Deutschland GmbH), Edsel-Ford-Straße 21, 5000 Köln 71
Knorr	Knorr-Bremse GmbH, Moosacherstraße 80, Postfach 401 060, 8000 München 40
Martonair	Martonair Druckluftsteuerungen GmbH, Postfach 1120, 4234 Alpen
Maxam	Maxam Pneumatik GmbH, Sternstraße 32, 4000 Düsseldorf
Merkel	Martin Merkel KG, Postfach 930280, 2102 Hamburg 93
Nieberding	Nieberding & Co. GmbH, Postfach 868, 4040 Neuß
Origa	Origa GmbH Pneumatik, Mühlwiesenstraße 26, 7024 Filderstadt 1
Polack	Claus Polack, Dipl. Phys., Leonorenstraße 17, 7000 Stuttgart-Degerloch
Prädifa	Präzisions-Dichtungs-Fabrik Jäger KG, 7120 Bissingen
Rota	Rota Apparate- und Maschinenbau Dr. Henning KG, 7867 Oeflingen
Samsomatic	Samsomatic GmbH, Weismüllerstraße 3, Postfach 4147, 6000 Frankfurt 1
Schrader	Schrader Bellows GmbH, Guttenbergstraße 36–40, Postfach 1206, 4044 Kaarst 2
Sunvic-Dreloba	G.E.C.-ELLIOTT Automation GmbH, Albertus-Magnus-Str. 11, Postfach 190 520, 5650 Solingen
Telemecanique	Deutsche Telemecanique Electronique GmbH, Elisabeth Str. 17, Postfach 1780, 4030 Ratingen-Tiefen Broich
Walter	Carl Kurt Walter GmbH, Bahnstraße 43–51, Postfach 110 377, 5600 Wuppertal
WIK-A	Alexander Wiegand GmbH, 8763 Klingenberg

Sachwortverzeichnis

- Ablaufkette 217
 - Ablaufplan 138, 139
 - Ablaufsteuerung 138
 - Absorptionstrockner 33
 - absoluter Druck 3
 - Adiabatexponent 5
 - Adsorptionstrockner 31
 - analoges Signal 137
 - Anlageschema 138
 - Anschlußgewinde 69
 - Anschlußplatte 69
 - Antriebsglied 21, 24, 92
 - Anzeigeglied 24
 - Arbeitsablauf 138, 166
 - Arbeitsspiel 181
 - Atmosphäre 1
 - Atmosphärendruck 3
 - Ausflußfunktion 10
 - Automatik 249

 - Bar 3
 - Baueinheit 141
 - Bauglied 21, 23
 - Bearbeitungseinheit 114
 - Betätigungselement für Wegeventile (Bauformen):
 - Druckknopf 66
 - Druckluft direkt durch Differenzialkolben 69
 - , direkt durch Druckbeaufschlagung 63, 64, 68, 69
 - , direkt durch Druckentlastung 63, 65
 - Elektromagnet, direkt gesteuert 68, 70
 - , vorgesteuert 60, 62, 68, 70
 - Handhebel 65, 66
 - Handschiebeventil 63
 - Handtaster 66
 - Leerrücklaufrolle 67
 - Pedal 67
 - Raste zur Aufrechterhaltung einer Schaltstellung 66
 - Sinnbilder 45
 - Taster 67
 - Tastrolle 67
 - Tastrolle mit Leerrücklauf 67
 - Betätigungskraft 60, 63, 65
 - Betriebsbedingungen 161
 - Bewegungsablauf 141
 - Bewegungsfolge 138, 198 ff.

 - binäres Signal 137
 - Bi-Selector 239 ff.
 - Bohrvorschubeinheit 114, 115
 - Boolesche Algebra 152 ff.
 - Bourdonsche Röhre 125
 - Boyle-Mariotte, Gesetz von – 4 ff.

 - Coanda-Effekt 86

 - Dichtring, Fiber – 122
 - Dichtungselemente 101
 - digitales Signal 137
 - diskretes Signal 137
 - Doppeltopfmanschette 101
 - Drehantrieb 108
 - Drosselrückschlagventil 74 ff.
 - Drosselventil 73
 - Druck-
 - Abfall in Leitungen 34
 - Abfallberechnung 16 ff.
 - Begrenzungsventil 76
 - Meßgeräte 125 ff.
 - Regelventil 40
 - Schalter 77, 78
 - Taupunkt 30 ff.
 - Übersetzer 118
 - Wandler 118
 - absoluter – 3, 4
 - Atmosphären- 3, 4
 - Differenz- 3
 - kritischer – 11
 - Luft- 1 ff.
 - Über- 3, 4
 - Unter- 3, 4
- Druckluft-
 - Behälter 29
 - Filter 37 ff.
 - Regler 40 ff.
 - Trockner 30 ff.
 - Öler 41 ff.
 - Durchflußberechnung 9 ff.

 - Einzelschaltung 249
 - Endlagendämpfung 96, 97, 106
 - Energie-
 - (-Fluß, -Steuerung, -Übertragung, -Umformung) 21

- Energie, technische – 8
 - Verdichtungs- 5 ff.
 - Expansions- 5 ff.
- Expansion 4
- Fallbeschleunigung 1 ff.
- Feintaster 135
- Feuchtigkeit der Luft 19 ff.
 - absolute 19, 20
 - maximale 19, 20
 - relative 20
- Fluidik-Elemente 79 ff.
- Funktions-
 - Diagramm 140, 149
 - Linie 141 ff.
 - Plan 138, 146
 - Tabelle 152 ff.
- Gasgesetze 4
- Gaskonstante 5
- Gay-Lussac, Gesetz von – 4
- Gefahrenabschaltung 250
- Hauptleitung 21, 34
- Hygrometer 20
- Impulswandler 77
- Kältetrockner 31
- Kaskadensystem 206 ff.
- Kolben-Element 79
- Kolbenfläche 95
- Kolbenstangengeschwindigkeit 106, 191
- Kolbenstangkraft 102 ff.
- Kondenswasser 29, 31, 35, 38, 39
- kritisches Druckverhältnis 15
- Kurven 67
- Kurvenscheiben 242
- Leitungen:
 - Arbeitsleitungen 122, 123
 - biegsame Leitungen 122, 123
 - Hauptleitungen 34
 - Sammelleitungen 211
 - Steuerleitungen 122, 123
- Leitungsverbindungen 121, 123
- Leitwert C 14
- Luft, Bestandteile der – 1
- Luftfeuchtigkeit 19
- Magnete, Gleichstrom- 68, 70
 - Wechselstrom- 68, 70
- Massenstrom 10
- Membran 27
- Membran-Elemente 82 ff.
- Meßfühler 134 ff.
- Meßgeräte:
 - Druckmeßgeräte 125 ff.
 - Längenmeßgeräte 131 ff.
 - Volumenmeßgeräte 127 ff.
- Meßverfahren:
 - Ausflußmeßverfahren 128
 - Behältermeßverfahren 127
 - Differenzdruckmeßverfahren 132
 - Niederdruckmeßverfahren 131
 - Schwebekörpermeßverfahren 130
 - Wirkdruckmeßverfahren 129
- Motoren:
 - Axialkolbenmotor 110
 - Bremsmotor 111
 - Lamellenmotor 111 ff.
 - Radialkolbenmotor 110
 - Turbomotor 111
 - Zahnradmotor 111
- Nachkühler 29
- Negation 154
- NICHT-Funktion 154
- Nutring 101
- ODER-Funktion 146, 151, 154
- Ordnungszahl 24, 165
- O-Ring 101
- Pascal 3
- Programmablaufplan 138, 144 ff.
- Programmschaltwerk 242 ff.
- Reibungswiderstand 93, 101, 103 ff.
- Regelung 40, 136
- Regelung der ausströmenden Luft 192, 193
- Regelung der einströmenden Luft 192, 193
- Ringfläche 95
- Rohranschluß 47, 69, 71
- Rollmembran 94
- Rückschlagventil 71, 72
- Rückstellfeder
 - pneumatische – 51, 53
 - Spiralfeder 51
- Ruhestellung 47
- Rutschkupplung 113
- Sättigungstemperatur 31
- Schalldämpfer 123, 124
- Schallgeschwindigkeit 11

Schaltalgebra 152 ff.
 Schaltfunktionen
 (UND, ODER, NICHT, ZEIT, SPEICHER)
 152 ff., 161
 Schaltplan 24
 Schaltstellung 47
 Schalttisch 114 ff.
 Schlagkupplung 113
 Schmutzabstreifer 101
 Schnellentlüftungsventil 73
 Schnelldkupplung 123
 Schrauber 113
 Schritt 141
 Sensoren 88 ff.
 Signalflußplan 199 ff.
 Signalglied 21 ff.
 Signallinie 142
 Sitzventil-Element 80
 spezifisches Volumen 4
 spezifische Wärme 5
 Speicher 156 ff.
 Stangenfläche 95
 Startvoraussetzung 143
 Stellglied 23
 Steuerelement 21, 43 ff.
 Steuerglied 23
 Steuerkette 23, 136, 156
 Steuerung 21 ff., 136 ff.
 Steuerungen
 Ablaufsteuerung 164
 – für doppeltwirkende Zylinder 169 ff.
 – für einfachwirkende Zylinder 166 ff.
 – für mehrere Zylinder 195 ff.
 Verknüpfungssteuerungen 161
 Wechselsteuerungen 185 ff.
 Wegplansteuerungen 172 ff.
 Strahlschranke 90
 Strömung,
 Stationäre – 9
 Quasistationäre – 11
 – bei kleinen Druckunterschieden 19
 Taktvorschubgerät 117
 Taupunkt 30 ff.
 Atmosphärischer Taupunkt 31
 Druck Taupunkt 30
 Toricelli 1, 2
 Topfmanschette 101
 Turbulenzverstärker 85
 Überdruck 3
 UND-Funktion 146, 151, 152

Veitch-Karnaugh-Diagramm 140, 153, 196 ff.
 Ventile:

Drosselventile 73 ff.
 Druckventile 76 ff.
 Flachschieberventil 65
 Fußventil 67
 Gruppenvorwählventil 211
 Handhebelventil 66
 Hauptventil 23
 Impulsventil 56
 Kolbenschieberventil 63
 Rückschlagventil 71
 Schiebeventil 63
 Schnellentlüftungsventil 73
 Sicherheitsventil 76
 Sitzventil 60
 Sperrventil 71 ff.
 Stromventil 73 ff.
 Wechselventil 71
 Wegeventil (siehe W)
 Zuschaltventil 76
 Zweidruckventil 72

Venturi-Rohr 41

Verdichter 24 ff.

Verknüpfungssteuerungen 138

Verschraubungen 121, 122

Verstärker 92

Verzögerungselement 79

verzögerter Ausschaltzeitpunkt 51, 54

– Einschaltzeitpunkt 51, 53

– Rücklauf der Kolbenstange 178

Volumenstrom 10

Vorschubeinheit 108

Wandstahlelemente 86 ff.

Wärmetauscher 31, 32

Wartungseinheit 36 ff.

Wasserabscheider 35

Wasserdampf 19

Wegeventile:

Anschlüsse 47

Ausgangsstellung 47

Bauformen 60 ff.

Betätigungselemente (siehe B)

Bezeichnung 47

Durchfluß-Ruhe-Stellung 49

Entlüftung 47

Impulsventil 56 ff.

Montagearten 69

Ruhe-Stellung 47

Schaltstellung 47

Sperr-Ruhe-Stellung 49

Wechselventil 71, 72

Weg-Schritt-Diagramm 138, 140
Weiterschaltbedingung 138, 164, 220 ff.
Wirkungslinie 146

Zähler 78

ZEIT-Funktion 151, 155

Zeitglieder 78

Zeitmaßstab 141, 244

Zustandsänderung 5 ff.

Zustandsgleichung der Gase 5

Zweidruckventil 72

Zweihand-Sicherheits-Auslösung 187 ff.

Zylinder:

Anfertigung 101

Anschlüsse 95

Befestigungselemente 96

Berechnung 93, 102 ff.

durchgehende Kolbenstange 97, 98

berührungslose Signalgabe 97

Boden 95

Bodenanschluß 95

Bodenseite 95

Bremszylinder 108 ff.

Deckel 95

Deckelanschluß 95

Deckelseite 95

Differentialzylinder 95, 96

doppeltwirkender Zylinder 95

einfachwirkender Zylinder 93

Endlagendämpfung 96, 106 ff.

Kabelzylinder 98

Kolbenstangengeschwindigkeit 106, 191 ff.

Kolbenstangenkraft 102 ff.

Luftverbrauch 106

Mehrstellungszyylinder 99

Membranzylinder 94

pneumatisch-hydraulische Beaufschlagung 101

Schlagzylinder 99, 100

Tandemzylinder 99

Zylinder ohne Kolbenstange 98

Zylinderschalter 91